

PROSA

Photovoltaik Wechselrichter

Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

Studie im Rahmen des Projekts
„Top 100 – Umweltzeichen für klima-
relevante Produkte“

Freiburg, den 05. April 2012

Autorinnen:

Dr. Corinna Fischer
Eva Brommer
Jens Gröger

Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 1771
79017 Freiburg. Deutschland
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg. Deutschland
Tel. +49 (0) 761 – 4 52 95-0
Fax +49 (0) 761 – 4 52 95-288

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt. Deutschland
Tel. +49 (0) 6151 – 81 91-0
Fax +49 (0) 6151 – 81 91-133

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin. Deutschland
Tel. +49 (0) 30 – 40 50 85-0
Fax +49 (0) 30 – 40 50 85-388

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



**DIE BMU
KLIMASCHUTZ-
INITIATIVE**

Zur Entlastung der Umwelt ist dieses Dokument für den
beidseitigen Druck ausgelegt.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
Methodisches Vorgehen	5
1 Teil I: Markt- und Umfeldanalyse	6
1.1 Definition und Geltungsbereich	6
1.1.1 Unterscheidung nach Steuerungsart	6
1.1.2 Unterscheidung nach Anschlusstyp	7
1.1.3 Wechselrichter mit oder ohne Transformator	8
1.1.4 Geltungsbereich	8
1.2 Qualitätsaspekte	8
1.2.1 MPP-Tracking	8
1.2.2 Wirkungsgrad	10
1.2.3 Beteiligung am Netzmanagement	14
1.2.4 Lebensdauer	16
1.2.5 Umwelteigenschaften	16
1.2.6 Elektrische Sicherheit	18
1.2.7 Elektromagnetische Verträglichkeit	18
1.3 Marktanalyse	19
1.3.1 Hersteller	20
1.3.2 Preise	21
1.3.3 Markttrends	22
1.3.4 Marktsättigung	24
1.4 Technologietrends	25
1.5 Konsumtrends	25
1.6 Nutzenanalyse	26
1.6.1 Einführung	26
1.6.2 Gebrauchsnutzen	26
1.6.3 Symbolischer Nutzen	28
1.6.4 Gesellschaftlicher Nutzen	29
1.6.5 Zusammenfassung der Nutzenanalyse	30
1.7 Bestehende Standards	31
1.7.1 Europäische Gesetzesinitiativen	31
1.7.2 Einschlägige Normen	32
1.7.3 RAL-Gütekriterien	33
1.7.4 Bestehende Umweltzeichen	36
2 Teil II: Lebenszyklusanalyse	37
2.1 Ökobilanz	37

2.1.1	Funktionelle Einheit	37
2.1.2	Systemgrenzen	37
2.1.3	Betrachtete Wirkungskategorien	39
2.1.4	Ergebnisse	40
2.2	Analyse der Lebenszykluskosten	46
2.2.1	Investitionskosten	47
2.2.2	Entgangene Einspeisevergütung	47
2.2.3	Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse	48
3	Teil III: Gesamtbewertung und Ableitung der Vergabekriterien	49
3.1	Geltungsbereich	49
3.2	Energieeffizienz	49
3.2.1	Wirkungsgrad	49
3.2.2	Standby- und Nachtverbrauch	50
3.3	Beteiligung am Netzmanagement	50
3.4	Lebensdauer	50
3.5	Materialanforderungen	50
3.6	Recyclingfähigkeit	51
3.7	Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit	51
3.8	Geräusentwicklung	51
3.9	Verbraucherinformation	51
3.10	Ableitung einer Vergabegrundlage	52
4	Literatur	52
5	Anhang	55
5.1	Anhang I: die berücksichtigten Wirkungskategorien der vereinfachten Ökobilanz	55
5.1.1	Kumulierter Primärenergiebedarf	55
5.1.2	Treibhauspotential	55
5.1.3	Versauerungspotential	55
5.1.4	Eutrophierungspotential	55
5.1.5	Photochemische Oxidantienbildung	56
5.2	Anhang II: Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel	56

Einleitung

Die vorliegende Untersuchung zu Photovoltaik-Wechselrichtern ist Teil eines mehrjährigen Forschungsvorhabens, bei der die aus Klimasicht wichtigsten Haushaltsprodukte im Hinblick auf ökologische Optimierungen und Kosteneinsparungen bei Verbrauchern analysiert werden.

Auf Basis dieser Analysen können Empfehlungen für verschiedene Umsetzungsbereiche erteilt werden:

- für Verbraucherinformationen zum Kauf und Gebrauch klimarelevanter Produkte (einsetzbar bei der Verbraucher- und Umweltberatung von Verbraucherzentralen, Umweltorganisationen und Umweltportalen),
- für die freiwillige Umweltkennzeichnung von Produkten (z.B. das Umweltzeichen Blauer Engel, für das europäische Umweltzeichen, für Marktübersichten wie www.topten.info und www.ecotopten.de oder andere Umwelt-Rankings),
- für Anforderungen an neue Produktgruppen bei der Ökodesign-Richtlinie und für Best-Produkte bei Förderprogrammen für Produkte,
- für Ausschreibungskriterien für die öffentliche und umweltfreundliche Beschaffung,
- für produktbezogene Innovationen bei Unternehmen.

Methodisches Vorgehen

Für die Ableitung von Vergabekriterien für das Umweltzeichen wird gemäß ISO 14024 geprüft, welche Umweltauswirkungen bei der Herstellung, Anwendung und Entsorgung des Produktes relevant sind – neben Energie-/Treibhauseffekt kommen Umweltauswirkungen wie Ressourcenverbrauch, Eutrophierungs-Potenzial, Lärm, Toxizität, etc. in Betracht.

Methodisch wird die Analyse mit der Methode PROSA – Product Sustainability Assessment durchgeführt (Abbildung 1). PROSA umfasst mit der Markt- und Umfeld-Analyse, der Ökobilanz, der Lebenszykluskostenrechnung und der Benefit-Analyse die zur Ableitung der Vergabekriterien erforderlichen Teil-Methoden und ermöglicht eine integrative Bearbeitung und Bewertung.

Eine Sozialbilanz wird nicht durchgeführt, weil soziale Aspekte, z. B. bei der Herstellung der Produkte beim Umweltzeichen, bisher nicht oder nicht gleichrangig einbezogen werden.



Abbildung 1 Die Grundstruktur von PROSA

1 Teil I: Markt- und Umfeldanalyse

1.1 Definition und Geltungsbereich

Ein Photovoltaik-Wechselrichter (in Folgenden: PV-Wechselrichter) ist ein Gerät, das den von Photovoltaik-Modulen gelieferten Gleichstrom in Wechselstrom umwandelt, der in ein Stromnetz eingespeist werden kann. Zusätzlich beinhalten Wechselrichter in der Regel Einrichtungen zur Überwachung, Funktionskontrolle und Störungsmeldung der PV-Anlage. Man unterscheidet verschiedene Typen von PV-Wechselrichtern:

1.1.1 Unterscheidung nach Steuerungsart

Selbstgeführte Wechselrichter können nach einem vom Wechselrichter selbst bestimmten Takt an- und ausgeschaltet werden. Sie benötigen für ihre Steuerung keine Referenz vom Stromnetz. Daher können sie in so genannten Inselnetzen eingesetzt werden, z.B. auf Berghütten, in mobilen Geräten, oder für die unterbrechungsfreie Stromversorgung in kritischen Bereichen wie Krankenhäusern oder Kraftwerken.

Fremdgeführte Wechselrichter dienen dazu, den beispielsweise in Wind- oder Solaranlagen erzeugten Strom in das allgemeine Stromnetz einzuspeisen. Sie erzeugen einen netzsynchronen Wechselstrom und benötigen dafür als Referenz eine feste Wechselspannung aus dem Netz.

1.1.2 Unterscheidung nach Anschlussstyp

Bei *Modulwechselrichtern* besitzt jedes einzelne PV-Modul seinen eigenen Wechselrichter. Dadurch können die Wechselrichter flexibel auf die jeweilige Leistung des Moduls reagieren. Dies ist dort sinnvoll, wo die einzelnen Module durch unterschiedliche Ausrichtung oder Verschattung sehr unterschiedliche Leistung bringen, etwa bei mobilen Anlagen auf Autos oder Flugzeugen. Zudem ist keine Gleichstromverkabelung der Module nötig, was die Montage vereinfacht. Nachteil ist, dass durch die Vielzahl der Wechselrichter die gesamte Anlage sehr störanfällig ist. Wichtig ist daher die Lösbarkeit der Verbindung zwischen Modul und Wechselrichter, so dass die Geräte einzeln ausgetauscht werden können. Aus diesem Grund werden die Geräte auch nur in kleinen Anlagen etwa zwischen 100 Wp und 1,4 kWp eingesetzt. Zudem sind die Geräte noch deutlich teurer als andere Lösungen und die Wirkungsgrade vergleichsweise gering, sie liegen zwischen 89% und 94%.¹

Strang- oder *Stringwechselrichter* werden an einen bis drei Stränge angeschlossen, die jeweils aus mehreren in Reihe geschalteten Modulen bestehen. Sie besitzen nur einen so genannten MPP-Tracker (ein Gerät, das den Wechselrichter auf den optimalen Leistungspunkt eines Strangs einstellt). Daher sind sie bei mehreren Strängen nur dann geeignet, wenn diese in etwa dieselbe Leistung erbringen (gleiche Ausrichtung und Verschattung; gleiche Modulanzahl); ansonsten sinkt der Ertrag der Anlage. Strangwechselrichter erreichen höhere Wirkungsgrade als Modulwechselrichter und sind immer noch recht flexible bei Teilbeschattung: Zwar kann nicht auf unterschiedliche Verschattung einzelner Module reagiert werden, aber doch einzelner Stränge. Da sie wie die Modulwechselrichter im Freien angebracht werden, sind sie ebenfalls witterungsanfällig, allerdings ist die Gesamtanlage wegen der geringeren Zahl von Wechselrichtern weniger störanfällig. Strangwechselrichter erfordern ebenso wie Multi-Strang und Zentralwechselrichter eine aufwändigere Verkabelung auf der Gleichstromseite.

Multi-Strang- oder *Multi-String-Wechselrichter* besitzen mehr als einen so genannten MPP-Tracker. Damit sichern sie optimalen Ertrag auch bei mehreren Strängen unterschiedlicher Leistung.

Strang- und Multistrangwechselrichter sind der häufigste Typ bei Hausanlagen und kleinen Gewerbeanlagen bis 100 kWp. Sie haben eine DC-Nennleistung zwischen 1 und 20 kW.

Zentralwechselrichter mit einer DC-Nennleistung ab 100 kW werden bei großen PV-Anlagen ab 100 kWp eingesetzt; sie sind oft modular aufgebaut. Sie werden in einem separaten Gebäude wettergeschützt untergebracht und erreichen hohe Wirkungsgrade.

¹ Vgl. z.B. die technischen Daten für den Dorfmueller DMI auf <http://www.dorfmueller-solaranlagen.de/modulwechselrichter.htm>

1.1.3 Wechselrichter mit oder ohne Transformator

Wechselrichter gibt es mit oder ohne Transformator. Bei traflosen Geräten sind die Eingangs- und Ausgangsseite elektrisch verbunden. Sie erreichen höhere Wirkungsgrade. Geräte mit Trafo sorgen für eine galvanische Trennung der Gleichstrom- von der Wechselstromseite. Sie ermöglichen dadurch eine Erdung des PV-Generators. Dies erhöht die elektrische Sicherheit und ist in manchen Ländern zwingend vorgeschrieben. Zudem ist nicht jeder Wechselrichter-Typ mit jedem Modul kombinierbar. Kristalline Module sind meistens recht robust, benötigen keine Erdung und lassen sich daher (mit wenigen Ausnahmen) mit allen Wechselrichtertypen betreiben. Anders bei Dünnschicht-Modulen: Hier ist meist eine Erdung erforderlich, um die Module nicht zu beschädigen. Daher werden Wechselrichter mit Transformator eingesetzt.

1.1.4 Geltungsbereich

Die folgende Analyse wird für netzgeführte Strang- und Multistrangwechselrichter mit oder ohne Trafo in der Größenordnung bis 11 kW durchgeführt. Grund ist, dass es sich hierbei um die üblichen Typen für netzgekoppelte Haus- oder kleine Gewerbeanlagen handelt.² Dies ist die wichtigste Zielgruppe für das Umweltzeichen „Blauer Engel“, da es sich um den häufigsten Anlagentyp handelt und die Anlagen zugleich meist nicht von professionellen Betreibern betrieben werden.

1.2 Qualitätsaspekte

1.2.1 MPP-Tracking

Die Leistung (P) eines Photovoltaik-Generators (Solarmodul oder Strang) errechnet sich als Produkt aus Spannung (U) und Stromstärke (I). Spannung und Stromstärke stehen zugleich in einer definierten Beziehung zueinander: Variiert man den entnommenen Strom, so verändert sich zugleich die Spannung entsprechend einer so genannten „I-U-Kurve“. An einem bestimmten Punkt dieser Kurve erreicht das Produkt (die elektrische Leistung) sein Maximum; dies ist der „Maximum Power Point“ (MPP). In Abbildung 2 zeigt die rote Linie eine solche I-U-Kurve. P_{\max} ist der Maximum Power Point. Die gelbe Fläche markiert das Produkt aus I und U , also die Leistung im MPP. (I_{sc} bezeichnet den Kurzschlussstrom, also die Stromstärke bei Spannung = 0, und U_{oc} die Leerlaufspannung, also die Spannung bei Stromstärke = 0).

² Einige Analysten erwarten eine starke Preissenkung und paralleles Marktwachstum für Modulwechselrichter bis 2014, allerdings vorerst für die USA und Kanada (<http://www.isuppli.com/Photovoltaics/MarketWatch/Pages/MLPM-Solutions-Set-for-Fast-Growth-in-Solar-Market.aspx>). Diese Entwicklungen finden daher bei der vorliegenden Untersuchung keine Berücksichtigung.

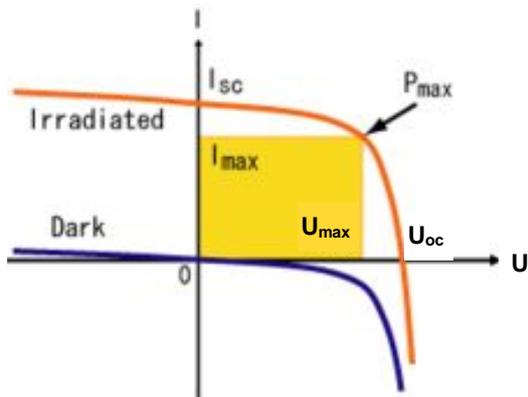


Abbildung 2 I-U-Kurve. Quelle: Wikimedia Commons, <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/SolarCell-IVgraph3-E.PNG>

Die Kurve verändert sich je nach Temperatur des Moduls und Sonneneinstrahlung permanent: Bei steigender Einstrahlung steigt auch die Stromstärke; bei steigender Temperatur sinkt die Spannung. Damit verschiebt sich auch der MPP. Abbildung 3 zeigt solche Variationen am Beispiel variierender Sonneneinstrahlung. Die violette Linie verbindet die jeweiligen MPPs.

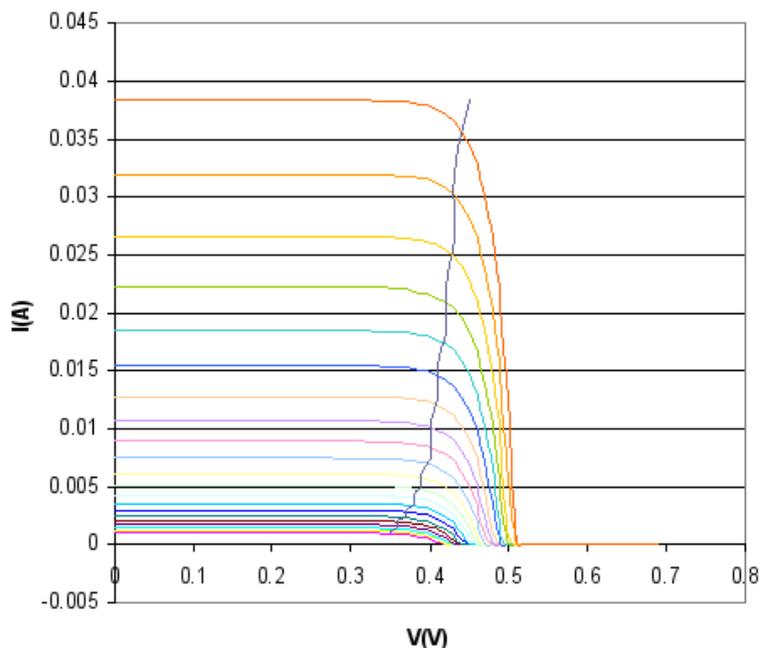


Abbildung 3 Verschiedene I-U-Kennlinien eines PV-Generators je nach Sonneneinstrahlung. Quelle: Wikimedia Commons, <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d8/Solar-Cell-IV-curve-with-MPP.png>

Aufgabe des Wechselrichters ist es, die entnommene Stromstärke jederzeit so zu dosieren, dass das Produkt aus Spannung und Stromstärke sein Maximum erreicht; der PV-Generator

also die maximal mögliche Leistung erbringt. Diese elektronische Regelung bezeichnet man als MPP-Tracking (MPPT). Je genauer es erfolgt, desto besser schöpft der Wechselrichter die vom PV-Generator theoretisch bereitgestellte Leistung aus. Je schneller es ist, desto besser kann sich der Wechselrichter an wechselnde Einstrahlungsverhältnisse, etwa bei wechselnder Bewölkung, anpassen.

1.2.2 Wirkungsgrad

Definition und Berechnung

Grob alltagssprachlich bezeichnet der Wirkungsgrad die Effizienz, mit der ein Wechselrichter Gleichstrom in Wechselstrom umwandelt. Dabei existieren allerdings unterschiedliche Definitionen, Berechnungsmethoden und „Wirkungsgrad-Arten“.

- Systematisch kann man *MPPT-Wirkungsgrad*, *Umwandlungswirkungsgrad* und *Gesamtwirkungsgrad* unterscheiden (vgl. zu den Grundlagen Häberlin 2005 und Häberlin et al. 2006):
 - Traditionell wurde vor allem der *Umwandlungswirkungsgrad* gemessen und angegeben. Gemessen wird er nach DIN EN 61683:2000. Er bezeichnet das Verhältnis der vom Wechselrichter am Gleichstromanschluss aufgenommenen Energie zu der am Wechselstromanschluss abgegebenen Energie, ist also ein Maß für die Effizienz der Energieumwandlung im Wechselrichter.
 - Der *MPPT-Wirkungsgrad* misst, welchen Anteil der theoretisch bereitgestellten Energie des PV-Generators der Wechselrichter tatsächlich aufnimmt. Er ist also ein Maß für die Genauigkeit, mit der sich ein Wechselrichter auf den Punkt der maximalen Leistung des PV-Generators einstellt.
 - Der *Gesamtwirkungsgrad* ist das Produkt aus statischem MPP-Wirkungsgrad und Umwandlungswirkungsgrad. Er bezeichnet, welchen Anteil der vom PV-Generator theoretisch bereitgestellten Energie der Wechselrichter an seinen Wechselstromanschlüssen wieder abgibt.
- Hinzu kommt, dass ein Wechselrichter nicht in allen Leistungsbereichen und auch nicht bei jeder Eingangsspannung den gleichen Wirkungsgrad hat. Bei geringer Leistung ist auch der Wirkungsgrad gering; der maximale Wirkungsgrad wird bei 50-100% der Nennleistung eines Wechselrichters erreicht. Außerdem erreicht er seinen besten Wirkungsgrad bei einer ganz bestimmten Eingangsspannung, die je nach Wechselrichter verschieden sein kann. Hersteller geben einen kleinen oder größeren Eingangsspannungsbereich an, in dem der Wechselrichter arbeiten kann. Mit diesen Problemen kann auf verschiedene Art umgegangen werden:
 - Der *maximale Wirkungsgrad* oder *Spitzenwirkungsgrad* wird gern vom Hersteller angegeben. Er bezeichnet den Wirkungsgrad, der bei der idealen Konstellation

von Eingangsspannung und Leistung erreicht werden kann. Er hat für die Praxis nur geringe Bedeutung, da diese Konstellation nur selten vorliegt.

- Wie gezeigt, variiert die Leistung des PV-Generators durch die unterschiedliche Sonneneinstrahlung und Modultemperatur. Man kann einen Durchschnitt über verschiedene Leistungsbereiche angeben, gewichtet mit der Dauer, in denen diese Leistungsbereiche in Europa durchschnittlich auftreten. Auf diese Weise wird der *europäische Wirkungsgrad* berechnet. Abbildung 4 zeigt in der roten Linie beispielhaft die Wirkungsgrade eines Wechselrichters bei verschiedenen Leistungen (die Leistungen werden gemessen in % der Nennleistung). Die blauen Punkte illustrieren die Gewichtung, mit denen die jeweilige Leistung in den europäischen Wirkungsgrad eingeht. Beim europäischen Wirkungsgrad ist die Eingangsspannung jedoch nicht festgelegt; Hersteller wählen deshalb für die Messung gern die günstigste Eingangsspannung.

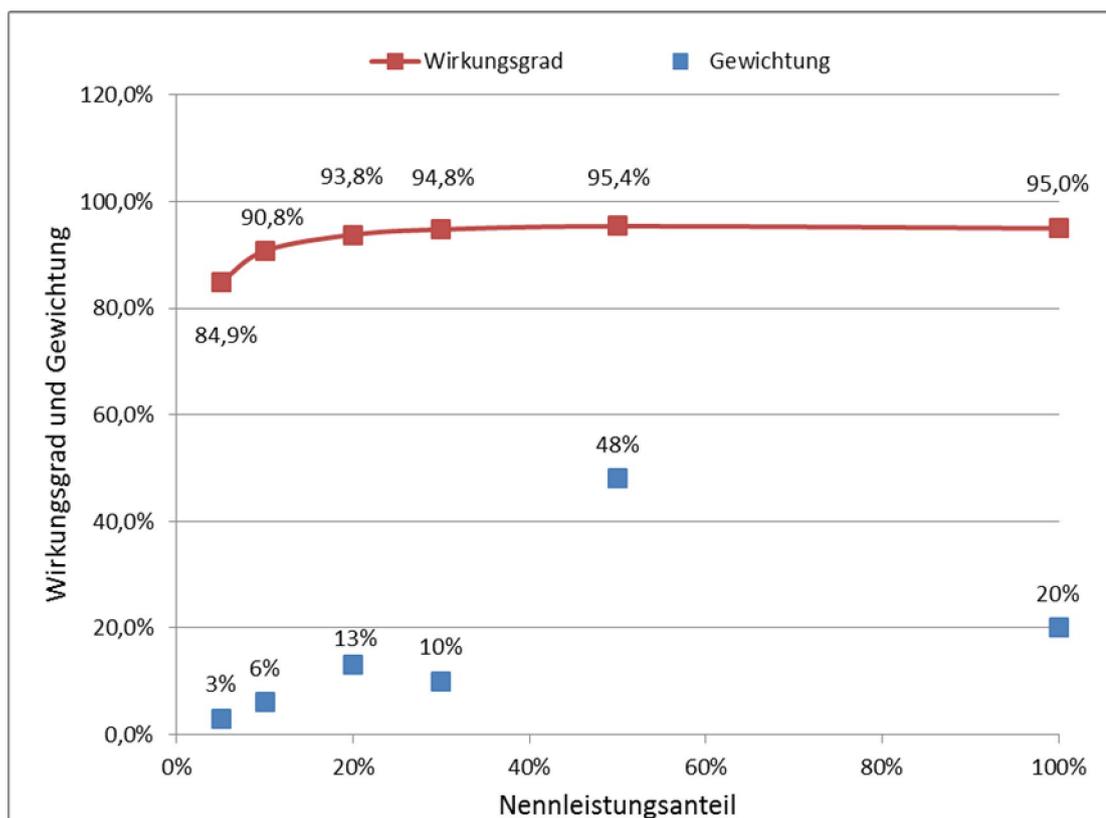


Abbildung 4 Ermittlung des europäischen Wirkungsgrads. Eigene Darstellung nach Maifeld Solar, <http://www.maifeld-solar.de/die-technologie/komponenten/37-wechselrichter.html>

- Die Zeitschrift „Photon“ hat bei ihren Wechselrichter-Tests versucht, alle diese Aspekte zu berücksichtigen. Der so genannte *Photon-Wirkungsgrad* wird aus dem Produkt aus MPPT-Wirkungsgrad und Umwandlungswirkungsgrad berechnet. Beide

Teilwirkungsgrade werden bei 20 verschiedenen Spannungen im vom Hersteller angegebenen Eingangsspannungsbereich und zusätzlich bei 24 verschiedenen DC-Leistungen gemessen. Die Werte für die verschiedenen Leistungen werden entsprechend der Dauer ihres Vorkommens gewichtet, die Werte für die verschiedenen Spannungen gemittelt. Aus dieser Kombination ergeben sich 480 Messpunkte, die zum Photon-Wirkungsgrad kombiniert werden (Photon Laboratory 2010).

- Der Gesamtwirkungsgrad gemäß der im April 2011 veröffentlichten neuen DIN EN 50530:2010 „Gesamtwirkungsgrad von Photovoltaik-Wechselrichtern“ wird im Prinzip auf die gleiche Weise ermittelt. Allerdings wird nur bei sechs verschiedenen Spannungen und acht verschiedenen Leistungen gemessen, woraus sich 48 Messpunkte ergeben. Zusätzlich beschreibt die Norm die Ermittlung eines *dynamischen MPPT-Wirkungsgrades*: Während bei der statischen Messweise in jedem Messpunkt mit einer gleich bleibenden I-U-Kombination und damit einem gleich bleibenden MPP gearbeitet wird, verändert man bei der dynamischen Messung während des Messvorgangs die Bestrahlungsstärke und damit den MPP des PV-Generators. Damit kann auch abgebildet werden, wie schnell der Wechselrichter auf Veränderungen reagiert.

Schwierigkeiten ergeben sich aus der teilweisen Inkohärenz der einschlägigen DIN-Normen DIN EN 61683 und DIN EN 50530 (vgl. für Details 1.7.2) sowie aus der Verfügbarkeit von Messdaten. Zurzeit liegen noch keine Messdaten nach DIN EN 50530 vor. Die umfangreichsten Messdaten wurden von der Zeitschrift „Photon“ nach der selbst entwickelten Methode erhoben. Diese Methode ist zudem durch die größere Zahl von Messpunkten genauer als die Messung nach DIN EN 50530. Hierdurch sind die Ergebnisse aber mit den Ergebnissen anderer Tests sowie mit den Ergebnissen zukünftiger normgerechter Messungen nur eingeschränkt vergleichbar. Die Ableitung von Vergabekriterien wird erschwert.

Messdaten

„Photon“ ermittelte zwischen Februar 2007 und Februar 2011 die Wirkungsgrade für 70 Wechselrichter von 29 Herstellern in den Größen 1,8 bis 19,6 kW (wobei 10 Geräte über 11 kW liegen) Zur Bewertung der Wirkungsgrade wendet die Zeitschrift folgende Skala an³:

³ Die Skala ist im Heft fehlerhaft wiedergegeben; bei den tatsächlichen Testergebnissen sind die Noten angegeben wie in der hier rekonstruierten Skala.

Tabelle 1 Bewertungsskala des Wirkungsgrades bei „Photon“

Wirkungsgrad	Note
≥ 96,5	Sehr gut
≥ 95,0	Gut
≥ 93,5	Befriedigend
≥ 92,0	Ausreichend
< 92,0	Mangelhaft

Die Ergebnisse für die 60 Geräte bis 11 kW sind in Abbildung 5 dargestellt (gleich gefärbte Balken jeweils gleiche Note bei Photon). Der niedrigste Wert liegt bei 78,4 (ein Ausreißer; der zweitniedrigste bei 86,8), der höchste bei 97. Der durchschnittliche Wirkungsgrad beträgt 93,62% (ohne den Ausreißer 93,88%); in diesem Bereich liegen auch die meisten Geräte. Sieben Geräte (rund 8,5%) schaffen einen Wirkungsgrad von mindestens 96,5% und damit ein „sehr gut“.⁴ Dabei handelt es sich um Geräte von sechs verschiedenen Herstellern. Siebzehn Geräte (rund 28%) von dreizehn verschiedenen Herstellern schaffen mindestens ein „gut“. Legt man die Schwelle dazwischen an, etwa bei 95,5% Wirkungsgrad, so wird sie von dreizehn Geräten (rund 21,7%) von zehn Herstellern genommen. (Photon 2/2011)

⁴ Deutlich wird auch die Bedeutung der Größe. Werden alle 70 Wechselrichter berücksichtigt, so schaffen 16 ein „sehr gut“, unter diesen sind aber neun große Geräte über 11 kW. Umgekehrt schafft nur eins der zehn Geräte über 11 kW ganz knapp kein „sehr gut“. Sechs der zehn großen Geräte liegen sogar über 97%.

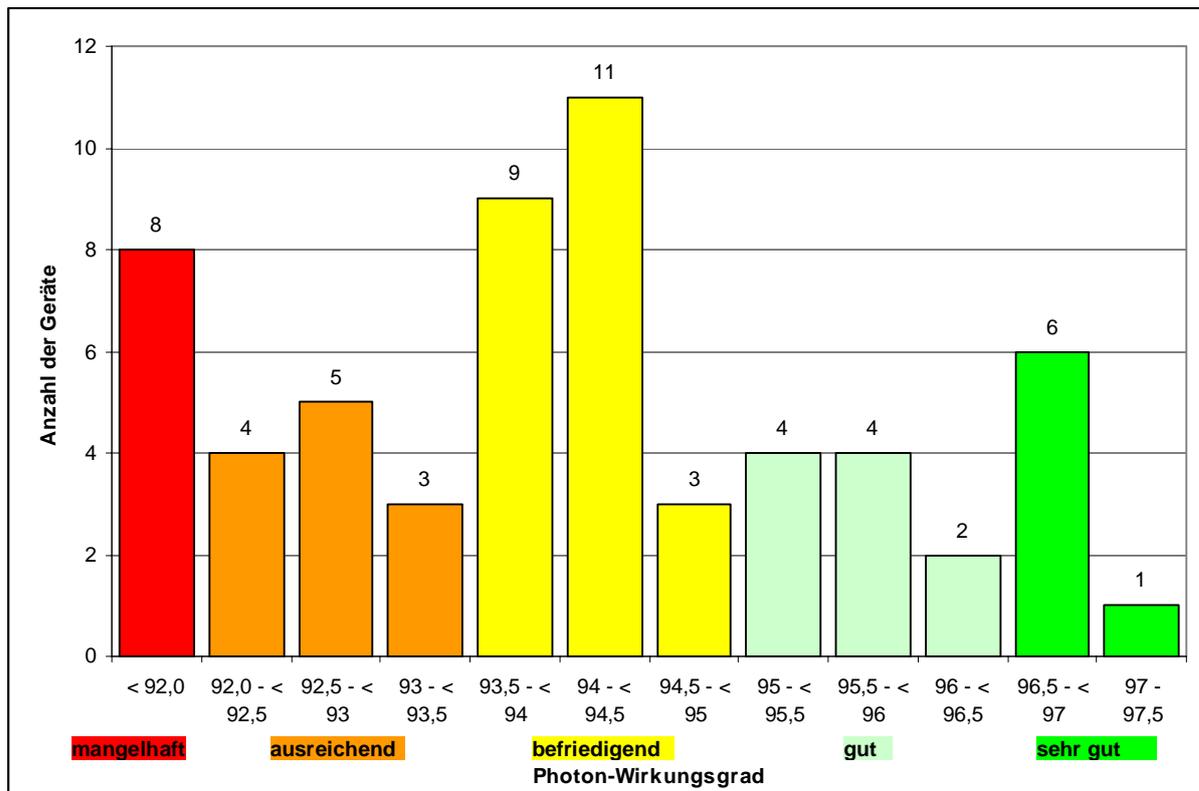


Abbildung 5 Wirkungsgrade von 60 PV-Wechselrichtern bis 11 kW. Quelle: Eigene Darstellung nach Photon 2/2011, S. 126 f.

1.2.3 Beteiligung am Netzmanagement

Der zunehmende Ausbau erneuerbarer Energien stellt die Stromnetze vor neue Herausforderungen. Unter anderem erschwert die schwankende Einspeisung die Einhaltung des von der DIN EN 50160 und DIN IEC 38 vorgegebenen Spannungsbereiches (Schwankungen der Versorgungsspannung um maximal $\pm 10\%$). Wechselrichter können dazu beitragen, diese Aufgabe zu bewältigen,

- indem sie sogenannte Blindleistung bereitstellen oder
- indem sie sich vom Netzbetreiber fernsteuern lassen, so dass die Einspeisung kurzzeitig reduziert oder gar ganz abgeschaltet werden kann.

Blindleistung entsteht beim Wechselstrom durch eine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke. Beispielsweise können Widerstände, wie sie von Spulen oder Transformatoren gebildet werden, bewirken, dass die Schwankungen der Stromstärke nicht genau synchron mit den Schwankungen in der Spannung verlaufen, sondern ihnen zeitlich „nachlaufen“ (induktive Blindleistung). Kondensatoren und Erdkabel bewirken umgekehrt ein „Vorlaufen“ der Stromstärke-Schwankungen (kapazitive Blindleistung). Hierdurch wird das

Produkt zwischen Spannung und Stromstärke, also die Leistung, zeitweise negativ. Verbunden damit sind Stromrückflüsse ins Netz (s. Abbildung 6).

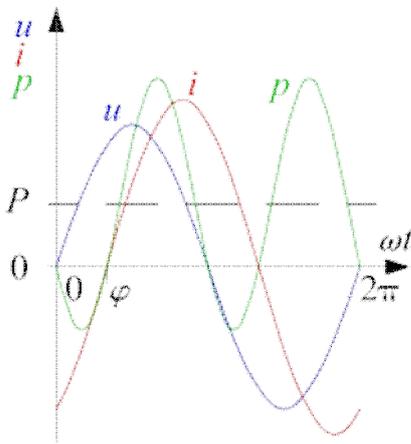


Abbildung 6 Blindleistung. Quelle: Wikimedia Commons, <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/70/Leistung-ui-induktiv.svg>

Es handelt sich also um Leistung, die nicht beim Verbraucher ankommt, sondern nur im Netz „hin- und herpendelt“. Normalerweise unerwünscht, kann die Einspeisung oder Aufnahme von Blindleistung jedoch dazu dienen, die Spannung im Netz anzuheben oder zu senken und somit Spannungsschwankungen auszugleichen. Von besonderer Bedeutung ist die Einspeisung induktiver Blindleistung, mit der die Spannung abgesenkt und so „Spitzen“ abgefedert werden können.

Die Fähigkeit zur Bereitstellung von Blindleistung wird für Solaranlagen im Niederspannungsnetz gemäß der VDE-Anwendungsregel "Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz" (VDE-AR-N-4105) ab 1.1.2012 Pflicht. Demnach sollen Anlagen zwischen 3,68 kVA und 13,8 kVA eine Blindleistung mit einer Phasenverschiebung von $\cos \phi$ 0,95_{induktiv} bis 0,95_{kapazitiv} zur Verfügung stellen können. (SMA 2011).

Die Fernsteuerbarkeit durch den Netzbetreiber wird für PV-Anlagen mit mehr als 30 kWp Anschlussleistung nach § 6 (2) der EEG-Novelle 2012 Pflicht. Die Betreiber kleinerer Anlagen haben die Wahl, entweder die Fernsteuerbarkeit zu ermöglichen oder aber die Wirkleistungsabgabe auf 70 % der installierten Leistung zu begrenzen. Nach Gesprächen mit Herstellern ist die Fernsteuerung von Anlagen in dieser Größenordnung allerdings für Netzbetreiber nicht wirtschaftlich.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Netzfrequenz auf 50,2 Hertz festgelegt ist. PV-Wechselrichter sind bisher so eingestellt, dass sie sich bei Überschreitung dieses Wertes automatisch abschalten. Da z.Zt. etwa 12 GW Photovoltaik-Kapazität am Niederspannungsnetz angeschlossen sind, aber nur 3 GW Regelkapazität zur Verfügung stehen, wäre ein gleichzeitiges Abschalten aller PV-Anlagen fatal und würde zum Zusammenbruch des Netzes führen. Daher sieht die VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4105 ab 1.1.2012 eine

stufenlose Reduktion der Wirkleistungsabgabe im Frequenzbereich zwischen 50,2 und 51,5 Hz vor; erst bei 51,5 Hz wird komplett abgeschaltet (SMA 2011).

1.2.4 Lebensdauer

Hersteller wie SMA legen ihre Geräte für 20 Jahre Lebensdauer aus. Garantiezeiten betragen üblicherweise 5 Jahre; Garantieverlängerungen sind gegen Aufpreis möglich. Die IEA rechnet mit 15 Jahren Lebensdauer (IEA 2009). Welche Lebensdauer in der Praxis tatsächlich erreicht wird, ist unklar: Geräte heutiger Bauart sind noch nicht lange genug auf dem Markt, dass belastbare empirische Daten gewonnen werden können. Im Allgemeinen wird damit gerechnet, dass die Lebensdauer der Module unterschritten wird, so dass Wechselrichter in einer Anlage mindestens einmal ausgetauscht werden müssen.

Eine typische Schwachstelle sind laut Herstellerangaben Elektrolyt-Kondensatoren; dies lässt sich aber durch eine gute Qualität der Kondensatoren vermeiden. Wechselrichter dürfen allerdings nicht zu lange gelagert werden; sie verschleißen, wenn sie nicht im Einsatz sind.

Langlebige Wechselrichter sind grundsätzlich wünschenswert, damit kein zu häufiger Austausch im Laufe der Lebensdauer einer Anlage notwendig wird. Allerdings ist dann zugleich eine einfache Updatemöglichkeit erforderlich, um die Geräte beispielsweise an veränderte Netzanforderungen anzupassen. Bei reinen Softwareaktualisierungen ist z.B. an ein Fernupdate zu denken.

1.2.5 Umwelteigenschaften

Stand-by und Nachtverbrauch

Wenn die Anlage zwar Energie erzeugt, jedoch die Leistung für eine Einspeisung nicht ausreicht, befindet sich der Wechselrichter im Standby-Betrieb. Erzeugt die Anlage (in der Nacht) keine Energie, fällt unter Umständen dennoch ein Nachtverbrauch des Wechselrichters an, etwa für ein Display. Beides wird in den Datenblättern der Produkte nicht immer unterschieden und insbesondere der Standby-Verbrauch wird häufig nicht angegeben. Wo angegeben, kann er zwischen 0,3 W und bis zu 9 W variieren. Der etwas häufiger angegebene Nachtverbrauch bewegt sich normalerweise zwischen 0 W (Nachtabschaltung) und 5 W.

Geräusentwicklung

Die Geräuschemissionen von Wechselrichtern können störend sein, besonders wenn die Geräte in Wohnräumen installiert sind. Die Geräuschemissionen sind in den Datenblättern der Geräte häufig nicht angegeben. Angegebene Emissionen sind bei Markenherstellern

niedrig mit Werten zwischen 25 dB(A) und 50 dB(A)⁵ (eine normale Unterhaltung entspricht 40-60 dB(A)). Hingegen ermittelten Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik bei Messungen an fünf Wechselrichtern Schalldruckpegel von bis zu 72,9 dB(A) in 1 m Entfernung (entspricht einem Staubsauger) (Roos et al. 2011). Auch Nutzer berichten von störenden Geräuscentwicklungen bei manchen Wechselrichtern, insbesondere durch zur Kühlung eingesetzte Ventilatoren.

Da Wechselrichter unter Umständen in Wohnräumen installiert werden, sollte der Schalldruckpegel sich an entsprechenden Vorschriften orientieren. In Frage kommt etwa DIN EN ISO 11690-1, nach der der Schalldruckpegel von Bürogeräten maximal 55 dB(A) betragen sollte oder die Technische Anleitung Lärm, nach der in Wohngebieten tagsüber maximal 50 dB (A) und nachts 35 dB (A) zulässig sind.

Werkstoffe

Es ist schwierig, valide Daten über die in PV-Wechselrichtern verwendeten Werkstoffe und insbesondere über möglicherweise problematische Inhaltsstoffe oder seltene Ressourcen zu erhalten. Das Gesamtgewicht der Geräte in der hier betrachteten Leistungsklasse beträgt ca. 15-40 kg. Eine Aufstellung des Herstellers SMA weist eine Aufschlüsselung nach Kupfer, Aluminium, Vergussmasse, Kernmaterial für Drosseln, EMV⁶-Filter und sonstigen Materialien aus, darunter Kunststoffe, Silizium und Elektrolyt. Bei der Vergussmasse handelt es sich meist um Epoxidharz oder Polyurethan; die Kernmaterialien werden nicht weiter differenziert. Den größten Anteil hat dabei Aluminium, das für das Aluminiumdruckgussgehäuse verwendet wird; die genauen Anteile schwanken aber stark je nach Gerät.

Nach einer Untersuchung der Silicon Valley Toxics Coalition können PV-Wechselrichter in Kunststoffteilen bromierte Flammenschutzmittel enthalten (polybromierte Biphenyle (PBB) und polybromierte Diphenylether (PBDE)). In Lötverbindungen und Schaltkreisen kann außerdem Blei und hexavalentes Chrom vorkommen. Die Bromverbindung Tetrabrombisphenol A (TBBPA) kann sowohl als Additiv zu Kunststoffen als auch reaktiv in Leiterplatten eingesetzt werden (SVTC 2009).

PBB, PBDE, Blei und hexavalentes Chrom fallen unter die EU-Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten („RoHS-Richtlinie“), damit ist ihre Verwendung in elektronischen Geräten grundsätzlich verboten. Bisher sind PV-Produkte allerdings von RoHS ausgenommen. TBBPA ist bisher nicht von RoHS erfasst. Im Jahr 2008 wurde das Verfahren zur

⁵ Hierbei wird fast nie angegeben, ob es sich um den Schalldruckpegel (ortsabhängig) oder den Schallleistungspegel (ortsunabhängig) handelt. Das Maß für die Geräuschbelastung eines Nutzers an einem konkreten Ort (z.B. 1m Entfernung von der Geräuschquelle) ist der Schalldruckpegel. Die für die Praxis relevante Größe ist der bewertete (d.h. nach den für das menschliche Ohr wahrnehmbaren Frequenzanteilen gewichtete) Schalldruckpegel.

⁶ Elektromagnetische Verträglichkeit.

Risikobewertung der EU-Kommission abgeschlossen; das Produkt wurde als nicht gesundheits- und nur beim additiven Einsatz in Kunststoffen als gering umweltschädlich eingestuft. Die Chemikalie ist bioakkumulierbar und toxisch für Wasserorganismen. Beim reaktiven Einsatz und bei fachgerechter Anwendung und Entsorgung wird TBBPA nicht in nennenswerten Mengen frei, jedoch können im Brandfall und bei der unregelmäßigen Entsorgung von Elektronikschrott sehr giftige Verbrennungsprodukte entstehen (polybromierter Dibenzodioxine und -furane). In der Diskussion ist TBBPA als außerdem als endokrin wirksame Substanz (vgl. Groß et al. 2008).

Recyclingfähigkeit

Wie alle leistungselektronischen Produkte bieten sich Wechselrichter zum Recycling an, um wertvolle Metalle zurückzugewinnen. Verschiedene Hersteller bieten bereits heute Modelle an, die aus recycelten Materialien bestehen und/oder recyclinggerecht konstruiert sind. Einzelne bieten auch die kostenlose Rücknahme und fachgerechte Entsorgung der Geräte an und/oder streben ein Recycling an. Noch existiert allerdings kein flächendeckendes, etabliertes Recyclingsystem, da bisher nicht in großem Umfang defekte Geräte angefallen sind.

1.2.6 Elektrische Sicherheit

Relevant sind hier die Sicherheit gegen elektrischen Schlag, der sichere Anschluss des Schutzleiters, die Trennung von Gleichstrom- und Wechselstromkreis sowie das sichere Abschalten bei Ausfall des Wechselstromnetzes. Anforderungen formuliert die DIN EN 50178: 1998-04 (Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmittel) (StiWa 2006).

1.2.7 Elektromagnetische Verträglichkeit

Ein Wechselrichter sollte zum einen gegenüber externen Störungen, etwa Spannungsstößen im Netz aufgrund von Blitzschlag, robust sein. Zum anderen sollte die Aussendung von Störemissionen gering sein, um nicht andere Geräte negativ zu beeinflussen. Maßgeblich sind hier die DIN-Normen DIN EN 61000-6-1: 2007-10 (Störfestigkeit) und DIN EN 61000-6-3: 2007-09 (Störaussendungen) (StiWa 2006).

1.3 Marktanalyse

Die Darstellung stützt sich vor allem auf die Marktforschung der hier führenden Firma IMS Research, wie sie im frei erhältlichen Newsletter sowie in Sekundärquellen (Presse- und Internetberichten) zugänglich ist.⁷

Weltweit wächst der Markt für Solar-Wechselrichter beständig trotz kurzfristiger Einbrüche (wie einer Übernachfrage und Knappheit im Jahr 2010, gefolgt von sinkender Nachfrage und Überkapazitäten im 1. und 2. Quartal 2011). Die Herstellungskapazitäten betragen Ende 2010 ca. 30 GW.⁸ Die am schnellsten wachsenden Segmente im Jahr 2010 waren kleinere Wechselrichter bis 20 kW und sehr große über 500 kW.⁹

Über 80 % der Lieferungen gingen im Jahr 2010 noch in europäische Länder. In Zukunft wird ein stärkeres Wachstum der außereuropäischen Märkte (vor allem USA, Indien und China) erwartet.¹⁰

Deutschland ist zuzeit noch das bedeutendste Herstellerland. Im September 2010 stammten sechs von zehn PV-Wechselrichtern aus deutscher Produktion.¹¹ Auch ist es noch immer der größte Absatzmarkt, allerdings mit sinkender Bedeutung: So wurden im vierten Quartal 2009 noch mehr als die Hälfte der Wechselrichter nach Deutschland geliefert; ein Jahr später waren es nur noch etwa 35 Prozent.¹² Im Jahr 2011 wird Deutschland nach Prognosen von IMS Research wieder der größte Absatzmarkt sein¹³, während es im ersten Quartal 2011 erstmals kurzfristig von Italien überholt wurde.¹⁴

⁷ Quellen im Einzelnen: Presseerklärungen auf http://imsresearch.com/research-area/Power_and_Energy/Renewable_Energy; EcoNews – die grüne Presseagentur, www.ecoworld.de; www.solarserver.de; Magazin PowerElectronicsTechnology <http://powerelectronics.com/news/ims-pv-inverter-market-030911/index.html>; Magazin Photon www.photon.de.

⁸ (<http://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/aktuelles/kw45/marktforschung-ims-research-erwartet-2011-ein-ueberangebot-an-photovoltaik-wechselrichtern-und-sinkende-preise.html>)

⁹ (<http://powerelectronics.com/news/ims-pv-inverter-market-030911/index.html>)

¹⁰ IMS Research, Pressemitteilung vom 27. April 2011, <http://www.pvmarketresearch.com/press-details.php?id=57>

¹¹ (http://www.eco-world.de/scripts/basics/econews/basics.prg?a_no=22198)

¹² http://powerelectronics.com/news/pv_inverter_market_shines_bright_third_quarter_20100101/index.html); http://www.photovoltaik.eu/nachrichten/details/beitrag/wechselrichter-nachfrage-geht-deutlich-zurck_100004889/

¹³ IMS Research, Pressemitteilung vom 2. August 2011, http://www.pvmarketresearch.com/press-release/IMS_Research_Raises_PV_Demand_Forecast_for_2011_to_Over_22_GW/5

¹⁴ IMS Pressemitteilung vom 26. Mai 2011, <http://www.pvmarketresearch.com/press-details.php?id=60>

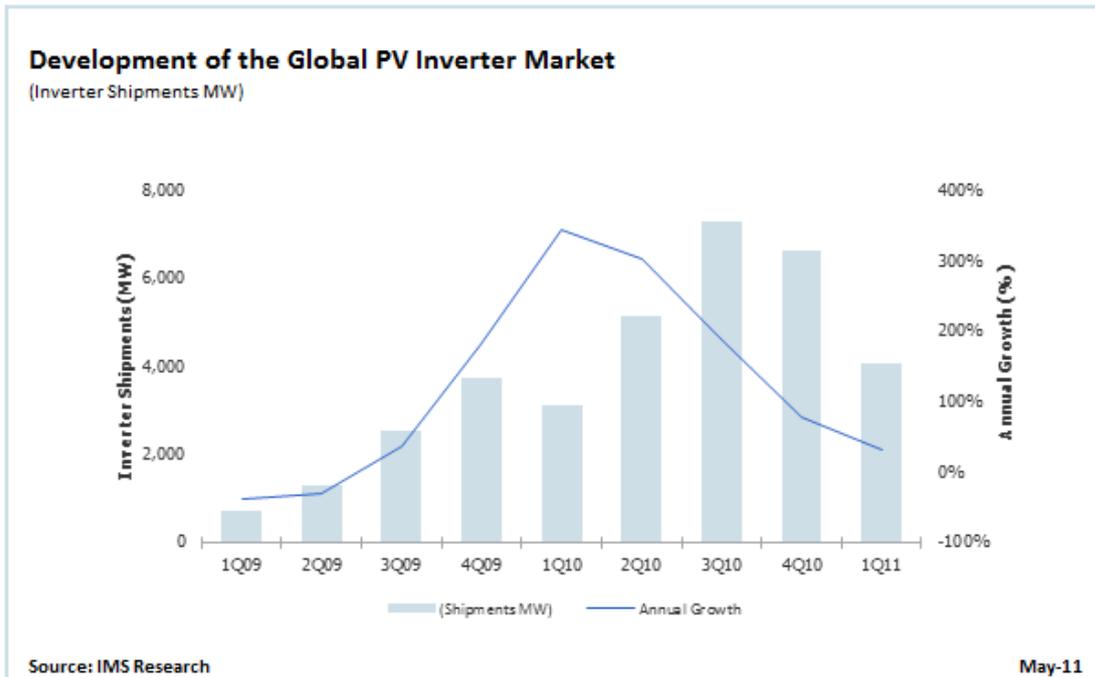
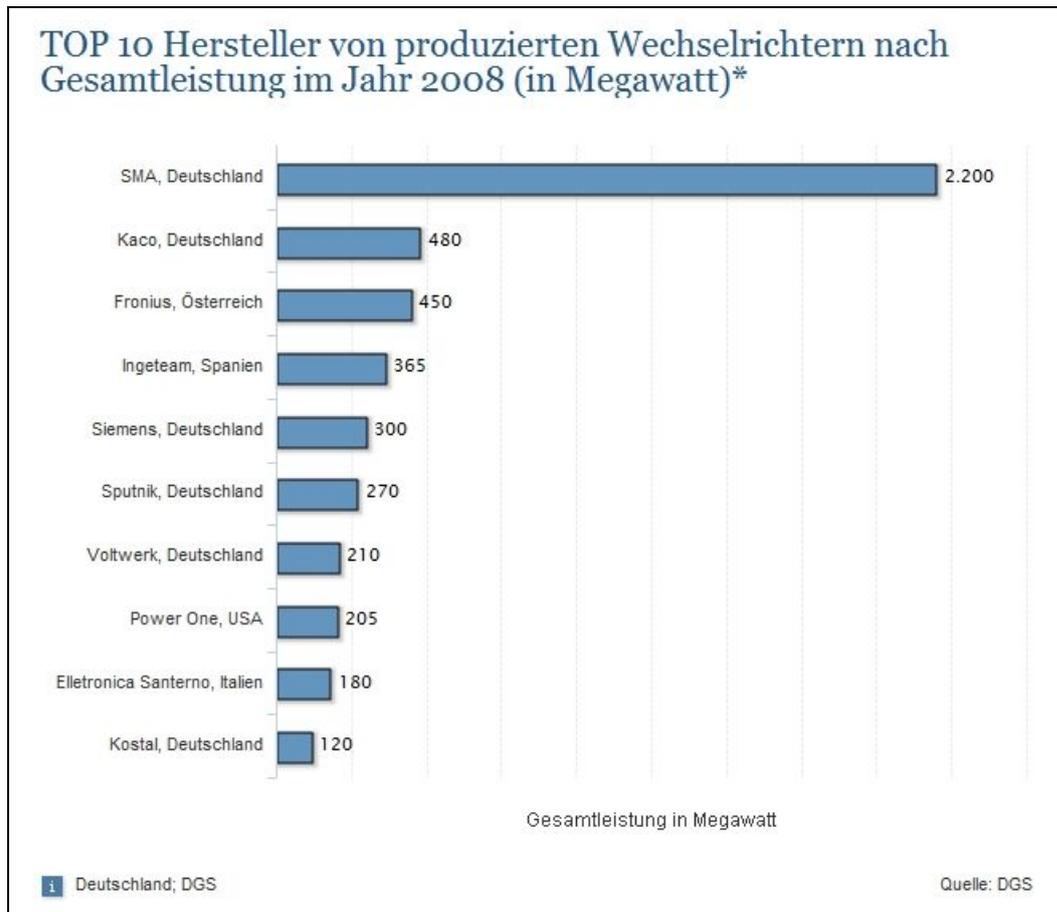


Abbildung 7 Entwicklung des globalen PV-Wechselrichtermarktes. Quelle: IMS Research, Pressemitteilung vom 26. Mai 2011

1.3.1 Hersteller

Der Weltmarkt ist durch eine starke Konzentration gekennzeichnet: Die 15 führenden Hersteller produzieren 81 % aller Wechselrichter,¹⁵ die fünf größten Hersteller gar 70 % (Heup 2011). Die zehn größten Hersteller im Jahr 2008 (von denen sechs aus Deutschland stammen) sind in Abbildung 8 dargestellt. Im Jahr 2009 hatte sich die Reihenfolge etwas verschoben: die fünf größten Hersteller waren SMA, Fronius, Kaco, PowerOne und Sputnik (IMS Research nach Heup 2011).

¹⁵ <http://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/aktuelles/kw45/marktforschung-ims-research-erwartet-2011-ein-ueberangebot-an-photovoltaik-wechselrichtern-und-sinkende-preise.html>



*ohne Xantrex und Danfoss; Quelle: Neue Energie, November 2009, Seite 72

Abbildung 8 Die 10 größten Hersteller von PV-Wechselrichtern weltweit. Quelle: Neue Energie, November 2009, Seite 72

Weitere in Deutschland ansässige Hersteller¹⁶ sind in alphabetischer Reihenfolge:

ACE, auroPower, Bahrmann, Bonfiglioli, Conergy, Control Techniques, Danfoss, Delta Energy, Diehl/Matrix, Dorfmüller, FeCon, Kyocera, Mastervolt, Megasol, Mitsubishi, OELMAIER, Phaesun, RefuSol, Ritter, Sanyo Denki, Scheuten Solar, Solar-Fabrik, Solarsysteme Josef Mittermeier, Solutronic, Steca, Sunways.

1.3.2 Preise

Die Preise der Geräte in der hier betrachteten Größenklasse wurden anhand von fünf Preissuchmaschinen im Internet¹⁷ sowie zwei großen Online-Händlern¹⁸ ermittelt. Die

¹⁶ Aufgenommen wurden Hersteller, die zumindest einen Firmensitz in Deutschland haben. Quellen: DCTI 2011; Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, <http://www.photovoltaikeinfos.com/technik/wechselrichter>; <http://www.directindustry.de/industrie-hersteller/solar-wechselrichter-80333.html>; Datenbank des BDI (www.diedeutscheindustrie.de) und weitere Internetrecherche.

Preisunterschiede zwischen den einzelnen Modellen, Herstellern und Lieferanten sind sehr groß.

Tabelle 2 Preisspannen für PV-Wechselrichter

Größe	Preisspanne
1- unter 5 kW	600-2400 EUR ¹⁹
5-10 kW	1300-3500 EUR ¹⁸

1.3.3 Markttrends

Für den Weltmarkt für PV-Wechselrichter erwarten Analysten ein kontinuierlich starkes Wachstum. So prognostiziert die Firma IMS Research ein Wachstum auf über 7 Mio. verkaufte Geräte im Jahr 2014 (gegenüber 1 Mio. im Jahr 2009). Der Umsatz werde auf 8,5 Milliarden US-Dollar steigen (<http://powerelectronics.com/news/ims-pv-inverter-market-030911/index.html>).

Die Rolle der deutschen Hersteller wird skeptischer gesehen. Die Konkurrenz aus Asien und Nordamerika wachse; allein 2011 seien dort Kapazitätserweiterungen um 12-15 GW geplant (PowerElectronicsTechnology, 2011). Nach einer Analyse des Magazins Photon, das die in Wechselrichtern der Firma SMA und des koreanischen Herstellers Dasstech verbauten Komponenten verglich, hat die asiatische Konkurrenz zudem deutlich geringere Produktionskosten (EcoNews 2010). Für 2011 erwartet IMS Research stagnierende oder sogar leicht sinkende Nachfrage in Deutschland.²⁰

Es wird erwartet, dass der Marktanteil insbesondere "smarter" Geräte, die sich am Netzmanagement beteiligen (vgl. Kapitel 1.2.3 und 1.4) stark steigt. Aufgrund steigender Anforderungen an die Netzintegration bei steigendem PV-Anteil sollen diese Geräte 2015 rund 60% Marktanteil haben gegenüber nur 20% im Jahr 2010; im Wirtschaftsraum Europa – Mittlerer Osten – Afrika sollen es sogar 80% sein.²¹

Der Markt für PV-Wechselrichter hängt naturgemäß vom Markt für Photovoltaik insgesamt ab. Wechselrichter werden zum einen für Neuanlagen verkauft, zum anderen als Ersatz für ausgefallene Geräte in Bestandsanlagen. Da die Lebensdauer des Wechselrichters deutlich

¹⁷ Idealo.de, Preissuchmaschine.de, guentiger.de, billiger.de, preisroboter.de

¹⁸ TST (Solarladen.de, photovoltaik-shop.com), solarshop.net

¹⁹ Ohne vereinzelte, mehrfach überhöhte Preise bei einzelnen Händlern.

²⁰ <http://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/aktuelles/kw45/marktforschung-ims-research-erwartet-2011-ein-ueberangebot-an-photovoltaik-wechselrichtern-und-sinkende-preise.html>

²¹ Pressemitteilung von IMS Research vom 26. Juli 2011, http://www.pvmarketresearch.com/press-release/Smart_Inverter_Shipments_to_Grow_to_27_GW_by_2015_Grid_Integration_the_Key_Driving_Factor/4

geringer ist als die der PV-Module (vgl. Kapitel 1.2.4), müssen Wechselrichter während der Lebensdauer einer Anlage in der Regel mindestens einmal ausgetauscht werden.

Bei den *Neuanlagen* sind ein wesentlicher Treiber in Deutschland die Fördersätze des Energieeinspeisegesetzes (EEG). Bis 2010 stieg die Zahl der jährlich neu installierten Anlagen fast jedes Jahr an (Abbildung 9).

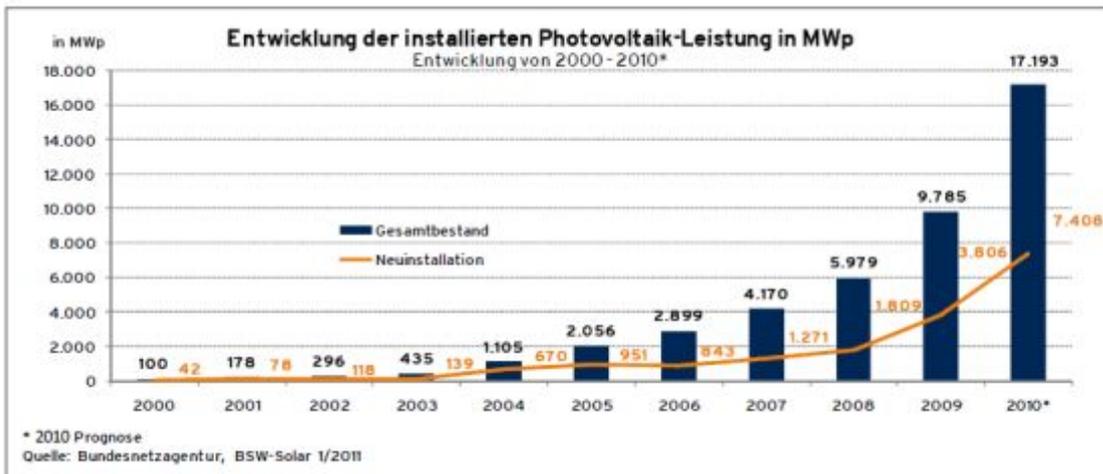


Abbildung 9 Entwicklung der installierten PV-Leistung in Deutschland in MWp

Die zukünftige Entwicklung unterliegt hingegen deutlichen Unsicherheiten. Bereits im Jahr 2010 wurden die Fördersätze des EEG vom Zubau abhängig gemacht (sog. „atmender Deckel“): Wenn der jährliche Zubau einen von der Bundesregierung festgelegten Deckel überschreitet, werden die Fördersätze für Neuanlagen automatisch abgesenkt. In der Folge sanken die Sätze schon zum 1.7.2010 um 13%, zum 1.10.2010 um weitere 3% und zum 1.1.2011 um nochmals 13% - insgesamt um fast 30%. Die am 8. Juli 2011 im Bundesrat beschlossene und ab 1.1.2012 gültige Novelle des EEG führt diese Entwicklung fort. Die jährlich festgelegte Basisdegression beträgt 9%; dieser Prozentsatz erhöht sich in mehreren Schritten auf bis zu 15%, wenn der jährliche Zubau bestimmte Marken überschreitet und verringert sich andererseits auf minimal 1,5%, wenn der Zubau hinter den Erwartungen zurückbleibt. Die Vergütungen sind damit nur schwer langfristig kalkulierbar. Die Auswirkungen auf den Markt sind schwierig abzuschätzen und hängen unter anderem auch von der Entwicklung der PV-Erzeugungskosten ab.

Der Erneuerungsbedarf bei den *Bestandsanlagen* wird sich zeitversetzt parallel zur Zahl der Inbetriebnahme neuer Anlagen entwickeln. Nimmt man an, dass ein Wechselrichter etwa nach 10-15 Jahren ersetzt werden muss, so wird zwischen 2010 und 2015 eine parallele Entwicklung zu Abbildung 9 einsetzen. Damit ist natürlich nicht gesagt, dass dieser Bedarf aus inländischer Produktion gedeckt werden wird.

Insgesamt rechnet der Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) bis 2020 mit einer um fast 2/3 sinkenden Inlandsnachfrage. Auf der anderen Seite betrug der Exportanteil bereits im Jahr 2010 rund 42%. Laut Prognose des BSW soll er bis 2020 auf 88% steigen, so dass sich die Produktion insgesamt verdoppelt (Abbildung 10).

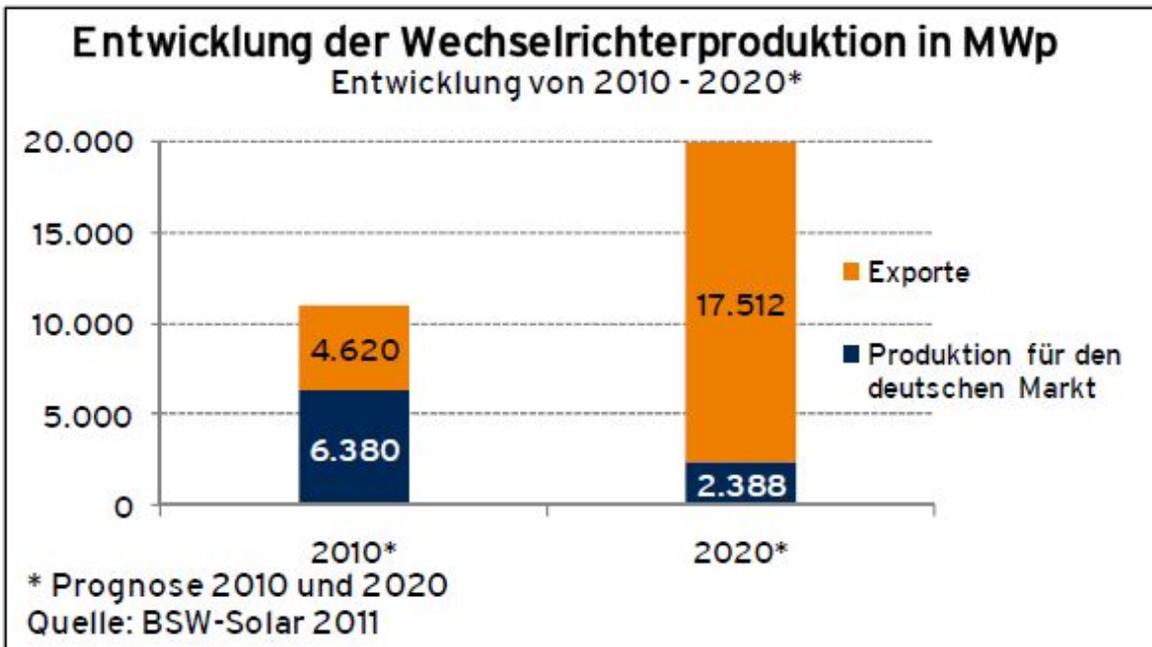


Abbildung 10 Prognostizierte Entwicklung der Wechselrichter-Produktion, Quelle: BSW-Solar 2011

1.3.4 Marktsättigung

Trotz der Absenkung der Vergütung und des derzeitigen Rückgangs der Nachfrage auf dem Inlandsmarkt ist eine Marktsättigung aus zwei Gründen mittelfristig nicht zu erwarten: Zum einen wird der Ersatzbedarf in den Jahren nach 2020 mit der zunehmenden Anzahl „in die Jahre kommender“ Anlagen steigen. Zum anderen erreicht Solarstrom im Haushaltskundenbereich im Jahr 2011-2012 voraussichtlich die Netzparität, d.h. Erzeugung von Solarstrom ist gleich teuer wie Strombezug aus dem Netz zum Haushaltskudentarif.²² Zwar bedeutet das Erreichen (oder Unterschreiten) der Netzparität ohne weitere Anreize (wie eben die EEG-Vergütung) nicht automatisch einen Investitionsschub: Zum einen verhindert das Speicherproblem eine ausschließliche Eigenversorgung, zum anderen bestehen weitere Investitionshindernisse, wie etwa hoher anfänglicher Aufwand. Doch sind daraus längerfristig auch bei weiter sinkender EEG-Vergütung Anreize für den Zubau zu erwarten.

²² Dies trifft noch nicht für die weitaus niedrigeren Industriestrompreise und erst recht nicht für die Erzeugungskosten zu.

1.4 Technologietrends

Technische Trends in der Photovoltaik werden jährlich auf der zentralen deutschen Anwendertagung, dem Symposium „Photovoltaische Solarenergie“ vorgestellt. Eine Auswertung der Programme der Symposien 2010 und 2011 ergab für Wechselrichter folgende Themenfelder für Innovation und technische Weiterentwicklungen:

- Veränderte Topologien für erhöhte Wirkungsgrade
- Verbessertes MPP-Tracking (vgl. dazu Kap. 1.2.1)
- Beteiligung am Netzmanagement (vgl. dazu Kap. 1.2.3.)
- Erweiterung und Verfeinerung der zusätzlichen integrierten Funktionen:
 - Funktionen der Anlagenüberwachung- und -steuerung (z.B. Fernüberwachung)
 - Neue Sicherheitsfunktionen, wie Detektion von DC-Lichtbögen
 - Integrierte Speicher zur Optimierung des Eigenverbrauchs
 - Fernupdate
- Modulwechselrichter
- Verbesserung von Messverfahren (z.B. für elektromagnetische Verträglichkeit, Wirkungsgrade, Leistung, Geräusch)
- Neue Werkstoffe (z.B. Siliziumkarbid für Transistoren, nanokristalline Werkstoffe für Entstördrosseln und Fehlerstrom-Überwachungsgeräte)

In Gesprächen mit Herstellern wurden zudem Ferndiagnose und Fernupdatefähigkeit als wichtige Themen genannt.

Für das Umweltzeichen bedeutet dies, dass bei einer potenziellen Revision die Aufmerksamkeit einerseits auf die mögliche höhere Effizienz, andererseits auf eventuelle Risiken und Umweltbelastungen durch neue Werkstoffe gerichtet werden muss.

1.5 Konsumtrends

Da es sich bei Solar-Wechselrichtern nicht um eigenständige Verbraucherprodukte handelt, sondern um Anlagenbestandteile, die ihren Nutzen aus der Funktion für die Gesamtanlage gewinnen (siehe Kapitel 1.6), existieren hier keine eigenständigen Konsumtrends. Diese ergeben sich vielmehr aus der Marktentwicklung für und den Anforderungen an Solaranlagen sowie aus den technischen Trends, die auf die Verbesserung des Gebrauchsnutzens im Kontext der Gesamtanlage abzielen.

1.6 Nutzenanalyse

1.6.1 Einführung

Die Analyse des Nutzens wird nach der Benefit-Analyse von PROSA durchgeführt. Dabei werden die drei Nutzenarten Gebrauchsnutzen, Symbolischer Nutzen und Gesellschaftlicher Nutzen qualitativ analysiert. Für die Analyse gibt PROSA jeweils Checklisten vor. Aufgrund der Besonderheiten einzelner Produktgruppen können einzelne Checkpunkte aus Relevanzgründen entfallen oder neu hinzugefügt werden. Im Folgenden wird anhand der modifizierten Checklisten der Nutzen analysiert, welchen Solarwechselrichter stiften. Es wird außerdem identifiziert, welche Eigenschaften besonders relevant sind, um einen hohen Nutzen zu stiften. Die zugehörige Checkliste ist jeweils am Anfang des betreffenden Abschnitts wiedergegeben.

1.6.2 Gebrauchsnutzen

Checkliste Gebrauchsnutzen



Abbildung 11 Checkliste Gebrauchsnutzen

Der zentrale Gebrauchsnutzen eines Solarwechselrichters liegt darin, dass er den vom PV-Generator zur Verfügung gestellten Gleichstrom möglichst effizient, d.h. verlustarm in Wechselstrom umwandelt. Aus einem hohen Wirkungsgrad ergibt sich auch ein konkreter finanzieller Nutzen für den Anlagenbetreiber, wie folgende Beispielrechnungen verdeutlichen.

Zugrunde gelegt werden ein mittlerer Jahresertrag der Module von 650 kWh/kWp (untere Grenze für Deutschland) und 1150 kWh/kWp (obere Grenze)²³ sowie eine Einspeisever-

²³ Tatsächlich handelt es sich bei diesen Zahlen um Durchschnittswerte für den Jahresertrag der gesamten Anlage, d.h. nach Stromumwandlung durch den Wechselrichter. Da die Spannbreite des Ertrags aber ohnehin

gütung von 28,74 ct/kWh.²⁴ Bei Austausch des Wechselrichters und Einsatz in Altanlagen mit deutlich höheren Vergütungssätzen kann die finanzielle Differenz auch mehr als das Doppelte dieser Zahlen ausmachen.

Tabelle 3 Finanzielle Relevanz des Wirkungsgrades eines PV-Wechselrichters

Anlagen- größe kWp	Jahresertrag der Module (obere / untere Grenze)	WR-Wirkungsgrad 92%		WR-Wirkungsgrad 97%		Finanzielle Differenz (jährlich)
		Jahresertrag der Anlage	Jährliche Vergütung	Jahresertrag der Anlage	Jährliche Vergütung	
2,00	1300,00	1196,00	343,73	1261,00	362,41	18,68
	2300,00	2116,00	608,14	2231,00	641,19	33,05
5,00	3250,00	2990,00	859,33	3152,50	906,03	46,70
	5750,00	5290,00	1520,35	5577,50	1602,97	82,63
10,00	6500,00	5980,00	1718,65	6305,00	1812,06	93,41
	11500,00	10580,00	3040,69	11155,00	3205,95	165,26

Zusatzleistungen des Wechselrichters bestehen in

- Kontroll- und Überwachungsfunktionen (z.B. Leistungs- und Ertragsüberwachung, Fehlerüberwachung), auch per Fernabfrage, z.B. Kommunikation mit PC oder Internet,
- Sicherheitsfunktionen, wie Abschaltung bei Netzstörungen, Unter- oder Überspannung,
- Beteiligung am Netzmanagement durch die Bereitstellung von Blindleistung und Fernsteuerbarkeit durch den Netzbetreiber.

Für die optimale Ausnutzung der Modulleistung ist eine bedarfsgerechte Dimensionierung des bzw. der Wechselrichter notwendig. Es kann hilfreich sein, wenn der Hersteller hier eine geeignete Planungssoftware zur Verfügung stellt. Die Haltbarkeit bzw. Lebensdauer sowie die Zuverlässigkeit sind ebenfalls ein wesentliches Kriterium für den Nutzwert: Zum einen stellt ein notwendiger Austausch von Wechselrichtern einen nicht unbedeutenden Kostenfaktor dar, zum anderen bedeuten Reparaturen und Austausch zeitlichen und organisatorischen Aufwand und Ertragsausfälle bei der Anlage. Eine lange Lebensdauer ist umso bedeutsamer, da eine Solaranlage mit mehreren String-Wechselrichtern ausgestattet ist, was die statistische Wahrscheinlichkeit von Ausfällen vervielfacht. Wichtige Kriterien für die Lebensdauer sind die Dauer der Herstellergarantie und mögliche Garantieverlängerungen. In Kombination mit der Lebensdauer ist zugleich ein guter Service, Reparatur- und Updatefähigkeit von Bedeutung, um den Wechselrichter schnell an sich verändernde

sehr hoch ist und es nur um eine orientierende Größenordnung geht, wurde dieser Unterschied hier außer Acht gelassen.

²⁴ Vergütung für den Zeitraum 1. Juli 2011 – 31. Dezember 2011 für Anlagen unter 30 kWp, die im selben Jahr in Betrieb genommen wurden (Neuanlagen), nach Beschluss der Bundesnetzagentur vom 16.6.2011. Vgl. Bundesnetzagentur (2011).

Anforderungen anpassen zu können, Aufwand zu verringern und Anlagenausfälle möglichst kurz zu halten. Hierfür kann etwa die Stellung eines Ersatzgerätes nützlich sein. Einen besonderen Service bietet die Fernupdatefähigkeit der Software.

Sicherheitsaspekte betreffen neben der Anlagen- und Fehlerüberwachung vor allem die elektrische Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit und wurden in den Abschnitten 1.2.6 und 1.2.7 dargestellt. Des Weiteren ist selbstverständlich eine gute Verbraucherinformation in Form einer verständlichen Bedienungsanleitung sowie nachvollziehbarer Meldungen des Wechselrichters über Betriebszustände und Störungen vonnöten. Die Fernabrufbarkeit von Informationen über verschiedene Medien (eigener PC, mobiles Endgerät) erhöht den Gebrauchsnutzen.

1.6.3 Symbolischer Nutzen

Checkliste Symbolischer Nutzen

- Äußere Erscheinung /Design/ Geschmack/ Haptik/Akkustik o.ä.
- Prestige/Status
- Identität/Autonomie/Entfaltung
- Kompetenz
- Sicherheit/Vorsorge/Sorge für Andere
- Privatheit
- Sozialer Kontakt/Gemeinschaftspflege
- Genuss/Vergnügen/Freude/Erlebnis
- Kompensation/Belohnung
- Konsonanz mit gesellschaftlichen, religiösen oder ethischen Meta-Präferenzen

Abbildung 12 Checkliste Symbolischer Nutzen

Symbolischen Nutzen stiftet weniger der Wechselrichter allein (obwohl einzelne Hersteller auch auf Design- und Prestigeaspekte setzen, etwa in Namensgebung, farblicher Gestaltung und Ausbau des Markenimage), sehr wohl jedoch die Solaranlage als Ganze. Sie kann Prestige und Status des Betreibers anheben, nicht nur durch ihren gesellschaftlichen und finanziellen Nutzen, sondern durchaus auch durch ihre äußere Erscheinung. Sie kann zur der Identität und Selbstentfaltung des Betreibers beitragen, etwa als Umweltschützer, vorsorgend denkender Mensch oder moderne und technikaufgeschlossene Person. Der Umgang mit der Solaranlage und die Möglichkeit, zur eigenen und gesellschaftlichen Versorgung mit sauberem Strom beizutragen erhöhen die technische Kompetenz wie die

wahrgenommene soziale Bedeutung des Betreibers. Solaranlagen dienen außerdem als Kapitalanlage und somit der eigenen und familiären Absicherung, und sie können Anlass für Austausch und Kommunikation sein. Nicht zuletzt kann der Betrieb einer Solaranlage als konform mit übergeordneten gesellschaftlichen und ethischen Werten wie Umweltschutz oder Unternehmergeist erlebt werden; all dies trägt auch zur Zufriedenheit des Betreibers. Dieser symbolische Nutzen hängt jedoch entscheidend vom Gebrauchsnutzen der Anlage ab, nämlich ihrer zuverlässigen Funktion und hohem Ertrag. Insofern kann ein Wechselrichter indirekt dazu beitragen, diesen symbolischen Nutzen zu stiften, indem er seinen eigenen Gebrauchsnutzen gut erfüllt.

1.6.4 Gesellschaftlicher Nutzen

Checkliste Gesellschaftlicher Nutzen



Abbildung 13 Checkliste Gesellschaftlicher Nutzen

Insoweit ein gut funktionierender Wechselrichter Zuverlässigkeit, Ertrag und Netzintegration von Solaranlagen gewährleistet, trägt er zur Stromversorgung mit erneuerbaren Energien bei. Damit sind vielfache bekannte gesellschaftliche Nutzenaspekte verbunden, wie

- Umweltschutz (Klimaschutz, Ressourcenschonung, Landschaftsschutz durch verringerten Abbau fossiler Ressourcen)
- Gesundheit und Sicherheit (verringerte Risiken durch nukleare Unfälle und Strahlung nuklearer Abfälle)
- Energieversorgungssicherheit, damit indirekter Beitrag zu fast allen energieabhängigen gesellschaftlichen Leistungen wie Mobilität, Versorgung mit Gütern und Dienstleistungen aller Art, Wohnen, Bildung, Kommunikation, Gesundheitsversorgung etc.
- Beitrag zur Friedenssicherung durch verringerte Abhängigkeit von importierten und endlichen Ressourcen

- Schaffung qualifizierter Arbeitsplätze, etwa in der Fertigung von Anlagenkomponenten und Installation von Anlagen

1.6.5 Zusammenfassung der Nutzenanalyse

Die Ergebnisse der Nutzenanalyse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4 Zusammenfassung der Nutzenanalyse

Nutzen	Produktspezifische Aspekte
Gebrauchsnutzen	
Leistung (Kernanforderungen)	Hoher Wirkungsgrad
Zusatzleistungen	Anlagenüberwachung (Leistung und Ertrag, Betriebszustände) Störungsüberwachung Sicherheitsfunktionen Netzmanagement (Blindleistung, Fernsteuerbarkeit)
bedarfsgerecht	Dimensionierung bei der Anlagenplanung
Haltbarkeit und Zuverlässigkeit in der Funktion	Garantie; Garantieverlängerung
Service / Reparierbarkeit / Ersatzteile	Schneller Reparaturservice / Entstörung, eventuell Stellung von Ersatzgerät, Bereithaltung von Ersatzteilen, Update bei veränderten Anforderungen, evtl. Fernupdate
Sicherheit / Versorgungssicherheit	Anlagen- und Fehlerüberwachung und ggf. Abschaltung Elektrische Sicherheit Elektromagnetische Verträglichkeit
gute Verbraucherinformation	Gebrauchsanleitung Verständlichkeit von Betriebszustands- und Störungsmeldungen Evtl. Fernabfrage von Informationen
Verfügbarkeit	
Symbolischer Nutzen	
Äußere Erscheinung / Design / Geschmack / Haptik / Akustik o.ä.	Beschränkt (Designaspekte bei einzelnen Herstellern)
Prestige / Status	Indirekt durch hohen Gebrauchsnutzen, d.h. Beitrag zum zuverlässigen Funktionieren und hohen Ertrag der Solaranlage
Identität / Autonomie / Entfaltung	
Kompetenz	
Sicherheit / Vorsorge / Sorge für Andere	
Sozialer Kontakt / Gemeinschaftspflege	
Genuss / Vergnügen / Freude / Erlebnis	
Konsonanz mit gesellschaftlichen, religiösen oder ethischen Meta-Präferenzen	

Gesellschaftlicher Nutzen	
Minderung nuklearer Risiken und Gefahren, damit auch Förderung von Gesundheit	Indirekt durch hohen Gebrauchsnutzen, d.h. Beitrag zu regenerativer Energieversorgung
Energieversorgungssicherheit, damit indirekt: Sicherung der wirtschaftlichen Stabilität, Mobilität, Versorgung mit Gütern und Dienstleistungen, Wohnen, Bildung, Kommunikation, Gesundheitsversorgung etc.	
Förderung qualifizierter Arbeitsplätze	
Förderung Klima-, Ressourcen- und Landschaftsschutz	
Sicherung von Frieden und Gewaltfreiheit durch verringerte Abhängigkeit von importierten und endlichen Ressourcen	

1.7 Bestehende Standards

1.7.1 Europäische Gesetzesinitiativen

Bisher existieren keine speziellen Ökodesign-Verordnungen für Solarwechselrichter. Dies ist derzeit auch nicht geplant. Die Ökodesign-Verordnung VO (EG) 1275/2008 vom 17. Dezember 2008 regelt den Standby- und Schein-Aus-Verbrauch von Geräten. Seit Januar 2010 darf der Standby- und Schein-Aus-Verbrauch maximal 1 W betragen, ab Januar 2013 maximal 0,5 W. Die Verordnung bezieht sich jedoch nur auf elektrische und elektronische Haushalts- und Bürogeräte. Wechselrichter fallen nicht unter den Geltungsbereich. Wenn auch kleine Wechselrichter in Zukunft stärker zum Netzmanagement beitragen sollen, incl. gezielter An- und Abschaltung, könnte die unter Los 26 geplante Verordnung für vernetzten Bereitschaftsbetrieb (networked standby) Bedeutung gewinnen, zu der derzeit die Vorstudie läuft. Allerdings ist derzeit ebenfalls eine Beschränkung auf Haus- und Bürogeräte vorgesehen.

Diverse Richtlinien regeln die Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit elektrischer Betriebsmittel (RL 2004/108/EG (elektromagnetische Verträglichkeit); RL 2006/95/EG (Niederspannung); RL 1999/5/EG (Funkanlagen und Telekommunikations-Endeinrichtungen)). Diese enthalten jedoch keine konkreten inhaltlichen Anforderungen, sondern sind jeweils durch Aktivitäten der Mitgliedstaaten oder harmonisierte Normen zu konkretisieren.

Die EU-Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte („WEEE-Richtlinie“) und die EU-Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten („RoHS-Richtlinie“) gelten derzeit für Photovoltaikprodukte nicht. Das Wuppertal-Institut hat 2010 in einem Forschungsprojekt gezeigt, dass es empfehlenswert und technisch und wirtschaftlich ohne größere Schwierigkeiten möglich ist, auch PV-Produkte der RoHS-Richtlinie zu unterwerfen (Saurat & Ritthoff 2010); der Vorschlag konnte sich jedoch gegen Widerstände aus der Branche (insbesondere der

Modulhersteller) nicht durchsetzen. Dennoch existieren bereits heute RoHS-kompatible Produkte.

1.7.2 Einschlägige Normen

Die folgenden Normen beziehen sich direkt auf PV-Wechselrichter:

- DIN EN 50524 (VDE 0126-13) „Datenblatt- und Typschildangaben von Photovoltaik-Wechselrichtern“; April 2010
- DIN EN 62109 (VDE 0126-14) „Sicherheit von Wechselrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen“; Teil 1 „Allgemeine Anforderungen“ und Teil 2 „Besondere Anforderungen an Wechselrichter“ vom Januar 2010, berichtigt im August 2011);
- DIN EN 50530 (VDE 0126-12) „Gesamtwirkungsgrad von Photovoltaik-Wechselrichtern“; April 2011
- DIN EN 61683 (IEC 61683; Photovoltaische Systeme – Stromrichter – Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades)

DIN EN 50530 verweist auf DIN EN 61683 und baut darauf auf. Zugleich gibt es Abweichungen in einzelnen Punkten. Tabelle 5 zeigt eine vergleichende Übersicht.

Tabelle 5 Vergleich der DIN EN 61683 und DIN EN 51530 zur Wirkungsgradmessung von PV-Wechselrichtern

	DIN EN 61683:2000	DIN EN 51530
Geltungsbereich	Netzgekoppelte und netzunabhängige WR	Nur netzgekoppelte WR
Messkonzept	Nur Umwandlungswirkungsgrad	Getrennte Messung von MPPT-Wirkungsgrad und Umwandlungswirkungsgrad (nur statisch); Multiplikation zu einem Gesamtwirkungsgrad
Bildung eines gewichteten Mittels aus Teilleistungswirkungsgraden	Nur informativ; setzt sich anders zusammen als der heutige Europäische Wirkungsgrad	Normativ, Bildung des Europäischen Wirkungsgrades
Messbedingungen	Festlegungen für Temperatur, Ausgangsspannung und -frequenz, Welligkeit und Verzerrung	Keine Festlegungen; Verweis auf DIN EN 61683
Messpunkte für netzgekoppelte WR		
(a) Eingangsspannungen	<ul style="list-style-type: none"> • Kleinste Bemessungseingangsspannung des Herstellers • Nennspannung oder Mittelwert des Bemessungseingangsspannungsbereichs • 90% der maximalen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kleinste MPP-Spannung (bei zwei versch. I/U-Kennlinien, die zwei versch. Zelltypen simulieren) • Bemessungseingangsspannung (bei zwei versch. I/U-Kennlinien) • für cSI-Module: maximale MPP-Spannung oder 80% der

	DIN EN 61683:2000	DIN EN 51530
	Eingangsspannung	maximalen Eingangsspannung (niedrigerer Wert) • für Dünnschicht-Module: maximale MPP-Spannung oder 70% der maximalen Eingangsspannung (niedrigerer Wert)
(b) Teilleistungspunkte	10%, 25%, 50%, 75%, 100% und 120%	5%, 10%, 20%, 25%, 30%, 50%, 75% und 100%
Toleranzen	Festlegung zulässiger Toleranzen bei garantiertem Wirkungsgrad	Keine Festlegung

Darüber hinaus enthalten einige allgemeinere Normen Bestimmungen zur Sicherheit, elektromagnetischen Verträglichkeit, und Messverfahren:

- DIN EN 60146-1-1 und DIN EN 60146-1-3 (Halbleiter-Stromrichter)
- DIN VDE 0100-712 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme). Es handelt sich um die deutsche Fassung der IEC 60364-7-712. Die Norm befindet sich gerade in Überarbeitung; ein Entwurf wurde im April 2011 veröffentlicht.
- DIN EN 61000-6-1; VDE 0839-6-1:2007-10 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-1: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe
- DIN EN 61000-6-3; VDE 0839-6-3:2007-09 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-3: Fachgrundnormen – Störaussendung für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe

1.7.3 RAL-Gütekriterien

Die RAL Gütegemeinschaft Solaranlagen hat „Besondere Güte- und Prüfbestimmungen für die Herstellung von Komponenten photovoltaischer Anlagen“ erlassen (RAL GZ 966, P1). Sie enthalten Vorschriften für Module, Wechselrichter und andere Bauteile. Für die Gütekriterien liegt der Entwurf einer Novelle vor, der im Laufe des Jahres verabschiedet werden soll. Im Arbeitsentwurf (Stand 24.6.2011) finden sich an Wechselrichter folgende Anforderungen:

- Auf dem Datenblatt sind die Mindestangaben nach DIN EN 50524 (VDE 0126-13) (Datenblatt- und Typschildangaben von Photovoltaik-Wechselrichtern) zu machen; dies sind im Einzelnen die in Tabelle 6 dargestellten Angaben.
- Bestimmungen zur Wirkungsgradmessung: Diese hat nach DIN EN 61683 (IEC 61683; Photovoltaische Systeme – Stromrichter – Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades) sowie nach DIN EN 50530 VDE 0126-12 „Gesamtwirkungsgrad von Photo-

voltaik-Wechselrichtern“ zu erfolgen. Darüber hinaus wird als Messbedingung eine Netzspannung von 230 V +/- 2 V festgelegt. Zusätzliche Messungen bei weiteren DC-Eingangsspannungen werden gefordert: 110% der kleinsten Spannung aus dem MPP-Spannungsbereich ($1,1 \times U_{MPP, \min}$) und 67% der maximalen DC-Eingangsspannung ($0,67 \times U_{DC_{\max}}$).

- Die Wirkungsgrade sollen rechtsverbindlich als zugesicherte Eigenschaften dokumentiert werden.
- Vorhandensein von Einrichtungen zur Betriebsdaten-Überwachung, Funktionskontrolle und Störungsmeldung der Anlage Eine Speicherung bzw. Übertragung der Daten muss möglich sein. Geeignete Auswerteprogramme sollten zum Wechselrichter angeboten werden. Eine Ausnahme besteht nur dann, wenn dies über ein externes Gerät erfolgt.
- Sicherheitsbestimmungen: Erfüllung von Sicherheitsanforderungen nach DIN EN 62109 VDE 0126-14, „Sicherheit von Wechselrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen.“ Dies betrifft Mindestanforderungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag, elektrische Energie, Brand, mechanische und sonstige Gefahren. Zudem Konformität mit den mit der DIN EN 60146-1-1 und DIN EN 60146-1-3 (Halbleiter-Stromrichter), mit RL 89/336/EWG, 2004/108/EG (elektromagnetische Verträglichkeit) sowie 73/23/EWG, 2006/95/EG (Niederspannung)²⁵ und 1999/5/EG (Funkanlagen und Telekommunikations-Endeinrichtungen)²⁶.
- Vorhandensein eines DC-Lasttrennschalters nach DIN VDE 0100-712 (Anforderungen für Solar-Photovoltaik (PV) Stromversorgungssysteme), oder Hinweis auf die Notwendigkeit eines solchen Bauteils in der Montage- und Betriebsanleitung. Bei einem im Wechselrichter integrierten elektronischen Lasttrennschalter muss eine Unbedenklichkeitsbescheinigung von Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (BGFE) oder der Deutschen Gesellschaft Unfallversicherung e.V. (DGUV) vorliegen.
- Der Wechselrichterhersteller muss eine Angabe zur Auswahl der Typenklasse der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD Einheit) machen.
- Die Produktunterlagen müssen Angaben zur Einbindung des Wechselrichters in Erdungs- und Potenzialausgleichs-, sowie Blitzschutzsysteme enthalten.

Bisher (Stand April 2011) sind unter den Wechselrichterherstellern nur KACO und sunways nach P1 zertifiziert.

²⁵ Warum die EWG-Richtlinien 89/336/EWG und 73/23/EWG genannt werden, ist unklar. Sie sind seit 2007 außer Kraft und wurden ersetzt durch RL 2004/108/EG und RL 2006/95/EG. RL 2006/95/EC enthält zudem keine inhaltlichen Anforderungen, sondern nur Pflichten der Mitgliedstaaten hinsichtlich der Gewährleistung elektrischer Sicherheit und freien Warenverkehrs. Die inhaltlichen Anforderungen in RL 2004/108/EG sind sehr allgemein und von den Mitgliedstaaten bzw. durch Normen zu konkretisieren.

²⁶ Diese enthält allerdings keine konkreten Anforderungen, sondern allgemeine Zielbestimmungen sowie Pflichten der Mitgliedstaaten, Ermächtigungen der Kommission und Verfahren der Konformitätsbewertung.

Tabelle 6 Datenblatt für PV-Wechselrichter nach RAL-GZ 966, P1

Kenngröße	Formelzeichen	Einheit
Leistungsdaten:		
Nennleistung DC	$P_{n\ DC}$	W
maximale DC-Eingangsleistung	P_{DCmax}	W
Nennleistung AC	$P_{n\ AC}$	W
maximale AC-Leistung	P_{ACmax}	W
Teilwirkungsgrade	$\eta (U_y, x\%)$	%
Max-Wirkungsgrad	$\eta_{max\%}$	%
Euro-Wirkungsgrad	η_{Euro}	%
Leistungsfaktor	$\cos \varphi$	
DC-Einschaltleistung	P_{ein}	W
DC-Ausschaltleistung	P_{aus}	W
Stand-By-Leistung	$P_{StandBy}$	W
Nacht-Leistung	P_{nacht}	W
Spannungen:		
Nennspannung DC	$U_{n\ DC}$	V
MPP-Spannungsbereich	MPPT	V
maximale DC-Spannung	U_{DCmax}	V
Abschaltspannung	U_{DCab}	V
Spannungsbereich AC		V
Ströme:		
Nennstrom DC	$I_{n\ DC}$	A
maximaler DC-Strom	I_{DCmax}	A
Nennstrom AC	$I_{n\ AC}$	A
maximaler AC-Strom	I_{ACmax}	A
Klirrfaktor	k	%
Sonstiges:		
Maße (Höhe, Breite, Länge)		mm
Gesamtgewicht		kg
Geräuschpegel		dB(A)
Temperaturbereich (Minimum, Maximum)	T_{min}, T_{max}	°C
Wirkungsgradänderung bei T_{max}	$\Delta \eta_{Tmax}$	< %
Wirkungsgradänderung bei Abweichung von der DC Nennspannung	$\Delta \eta_U$	%/100 V
MPP-Wirkungsgrad statisch (DIN EN 50530)	η_{MPP}	%
MPP-Wirkungsgrad dynamisch (DIN EN 50530)	η_{MPP}	%
Überlastverhalten	Beschreibung	
Art der Netzüberwachung	Beschreibung	
Montageanleitung	Beschreibung	

Kenngröße	Formelzeichen	Einheit
IP-Schutzgrad gemäß IEC 60529	Angabe	
Isolationsüberwachung	Angabe	
Anzahl der MPP-Tracker in Stück	Angabe	

1.7.4 Bestehende Umweltzeichen

Im Rahmen der PROSA-Studie wurden die Produktlisten sämtlicher Zeichen der Mitgliedsorganisationen des Global Ecolabelling Network (GEN), soweit auf Englisch erhältlich bzw. übersetzbar²⁷, sowie zusätzlich das Österreichische Umweltzeichen und der Energy Star überprüft. Kriterien für Solarwechselrichter wurden bisher nirgends erarbeitet.

²⁷ Nicht auffindbar oder übersetzbar waren die Produktlisten von Indien, Indonesien, Israel, Korea und der Ukraine.

2 Teil II: Lebenszyklusanalyse

2.1 Ökobilanz

Anhand der orientierenden Ökobilanz sowie der Analyse der Lebenszykluskosten soll ein Eindruck der Umweltauswirkungen und Lebenszykluskosten von Photovoltaik Wechselrichtern vermittelt werden. Die Ergebnisse bieten eine Orientierungshilfe zur Frage, wo die Verbesserungspotentiale in dieser Produktgruppe liegen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer orientierenden Ökobilanz eines Photovoltaik-Wechselrichters dargestellt.

2.1.1 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit ist die jährliche Nutzung eines Photovoltaik Wechselrichters mit einer Leistung von 2.500 Watt, der in eine netzgekoppelte PV-Hausanlage mit einer Anlagengröße von 2,5 kWp integriert ist. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden alle Werte auf eine Leistung von 1 kWp umgerechnet.

2.1.2 Systemgrenzen

Folgende Teilprozesse werden bei der orientierenden Ökobilanz berücksichtigt:

- Herstellung des Photovoltaik-Wechselrichters,
- Nutzung des Geräts über ein Jahr,
- Entsorgung des Photovoltaik-Wechselrichters.

Herstellung

Datengrundlage für die Herstellung eines PV-Wechselrichters bildet ein Datensatz der Datenbank EcoInvent 2.2. Dieser Datensatz umfasst die Herstellung eines PV-Wechselrichters mit einer Leistung von 2.500 Watt und einem Gesamtgewicht von 18,5 kg. Der Datensatz umfasst die benötigten Transporte sowie die Vorketten der einzelnen Stoffe und Materialien.

Nutzung

In der Nutzungsphase speist der PV-Wechselrichter Strom ein, der entweder vergütet oder zum Eigenbedarf genutzt wird. Zudem entstehen Verluste, sowohl im Betrieb (Umwandlungsverluste) als auch im Standby sowie unter Umständen auch in der Nacht (vgl. Abschnitt 1.2.5, Stand-by- und Nachtverbrauch). Berücksichtigt wurden in der Ökobilanz nur die Verluste als negative Umweltauswirkungen. Der erzeugte Solarstrom wurde nicht gegengerechnet. Zum einen ist es nicht sinnvoll möglich, einem einzelnen Anlagenbauteil

einen Anteil des durch die Anlage insgesamt erzeugten Solarstroms zuzuordnen. Zum anderen sind für die Ableitung von Vergabekriterien primär die Identifikation und der Vergleich von Umweltbelastungen relevant. Betrachtet wurden Betriebs- und Nachtverluste. Standby-Verluste wurden nicht berücksichtigt, da diese vernachlässigbar selten auftreten.²⁸

Für den PV-Wechselrichter werden Laufzeiten, wie sie in Tabelle 7 dargestellt sind, für die weiteren Berechnungen zugrunde gelegt. Die Laufzeiten wurden wie folgt errechnet:

- Betrieb: Durchschnittliche Sonnenstunden in Deutschland,²⁹
- Nacht: Hälfte der Stunden eines Jahres.

Die restlichen Stunden werden unterschlagen, da diese entweder als Teillaststunden in die Berechnung der Volllaststunden eingehen, oder als Standby vernachlässigbar sind.

Daraus ergeben sich folgende Werte:

Tabelle 7 Zugrunde gelegte Betriebszeiten des Wechselrichters

Betriebsmodus	Betriebszeit [h/a]
Betrieb (Volllaststunden)	956
Nacht	4380
Gesamt	5336

Verluste im Betrieb

Die Verluste im Betrieb werden durch den Wirkungsgrad bestimmt, der je nach Gerätetyp variiert (vgl. Abschnitt 1.2.2). Um die Spannbreite abzudecken und um darzustellen, welchen Einfluss der Wirkungsgrad hat, werden in den folgenden Berechnungen ein hoher Wirkungsgrad von 97% sowie ein niedriger Wirkungsgrad von 92% angenommen.

Die Energieverluste, die sich im Betrieb ergeben, berechnen sich durch die Volllaststunden³⁰ multipliziert mit der Spitzenleistung des PV-Generators multipliziert mit dem Verlustgrad, mit dem die Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom erfolgt (1 - Wirkungsgrad).

Tabelle 8 Verluste im Betrieb der PV-Wechselrichter

	Volllaststunden [h]	Wirkungsgrad	Verluste im Betrieb [kWh/kWp]
effizienter WR	956,51	97%	28,70
ineffizienter WR	956,51	92%	76,52

²⁸ Standby-Verluste treten bspw. dann auf, wenn die Module schneebedeckt sind oder ein paar Minuten während Sonnenauf- oder Sonnenuntergang.

²⁹ Vgl. <http://www.solarstromerzeugung.de/sonnenschein-dauer-photovoltaik.html>

³⁰ Die Volllaststunden in Deutschland liegen bei 956,51 Stunden (Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2010), vgl. <http://www.sonnenertrag.eu/photovoltaik-anlagen-vergleich.html?year=2008>

Wie Tabelle 8 zeigt, variieren die Verluste im Betrieb eines PV-Wechselrichters zwischen 29 und 77 kWh/kWp.

Verluste während der Nachtstunden

Die Verluste während der Nachtstunden berechnen sich durch die Anzahl der Nachtstunden multipliziert mit der entsprechenden Leistungsaufnahme, also dem Nachtverbrauch. Zugrunde gelegt wurden ein effizienter Wechselrichter mit einer Leistungsaufnahme in der Nacht von 0 W und ein ineffizienter mit einer Leistungsaufnahme von 5 W. Daraus ergeben sich Verbräuche für die Nacht, wie sie in Tabelle 9 dargestellt sind.

Tabelle 9 Verluste während der Nachtstunden der PV-Wechselrichter

	Betriebszeit während der Nacht [h/a]	Leistungsaufnahme [Watt]	Verluste während der Nacht [kWh/kWp]
effizienter WR	4380	0	0
ineffizienter WR	4380	5	21,90

Wie aus der Tabelle hervorgeht, entstehen im Standby Verluste zwischen 1 und 22 kWh/kWp in Abhängigkeit der Leistungsaufnahme des jeweiligen PV-Wechselrichters.

Entsorgung

PV-Wechselrichter werden nicht vom Elektro- und Elektronikgerätegesetz erfasst. Alte PV-Wechselrichter werden teilweise von den Herstellern zurückgenommen; dies ist jedoch nicht der Regelfall und für die Entsorgung von PV-Wechselrichtern liegen ansonsten keine repräsentativen Daten vor. Da Wechselrichter einen hohen Anteil an recycelbaren und wertvollen Metallen enthalten, wird für die folgenden Berechnungen angenommen, dass die Metalle des PV-Wechselrichters einem stofflichen Recycling zugeführt werden, wofür Gutschriften vergeben werden.

2.1.3 Betrachtete Wirkungskategorien

Folgende Wirkungskategorien werden in der orientierenden Ökobilanz betrachtet (Erläuterungen zu den Wirkungskategorien siehe Anhang):

- Kumulierter Primärenergieaufwand (KEA)
- Treibhauspotential (GWP)
- Versauerungspotential (AP)
- Eutrophierungspotential (EP)
- Photochemische Ozonbildung (POCP).

Die Wirkungskategorien Flüchtige Organische Verbindungen (VOC) und Langlebige Organische Schadstoffe (POP) werden in der Ökobilanzbewertung nicht berücksichtigt, da die Datenlage bei PV-Wechselrichtern noch mit großer Unsicherheit behaftet ist.

Die Umweltwirkungen werden für jeweils einen hohen und einen niedrigen Wirkungsgrad sowie einen hohen und einen niedrigen Nachtverbrauch berechnet. Aus der Kombination ergeben sich vier Szenarien, die in Tabelle 10 dargestellt sind. Der Standby-Verbrauch wird wie bereits erwähnt, nicht berücksichtigt (vgl. Kapitel 1.2.5).

Tabelle 10 Szenarien für die Ökobilanz

Szenario	Nachtverbrauch	Wirkungsgrad
Szenario 1	0 Watt	97%
Szenario 2	5 Watt	97%
Szenario 3	0 Watt	92%
Szenario 4	5 Watt	92%

2.1.4 Ergebnisse

In Tabelle 11 bis Tabelle 18 sind die Umweltauswirkungen der verschiedenen Szenarien und die Anteile der einzelnen Lebenszyklusphasen für die betrachteten Wirkungskategorien dargestellt. Für eine bessere Vergleichbarkeit sind die Daten auf 1 kWp pro Jahr umgerechnet. Die negativen Zahlenwerte stehen für Gutschriften beim Recycling.

Tabelle 11 Umweltauswirkungen Szenario 1

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	257,28	13,93	0,12	0,01	0,01
Nutzung	289,77	17,20	0,023	0,003	0,001
Entsorgung	19,19	1,14	0,01	0,001	0,001
Gutschrift	-105,37	-3,11	-0,04	-0,003	-0,003
Summe	460,87	29,16	0,12	0,01	0,01

Tabelle 12 Prozentuale Anteile der Umweltauswirkungen Szenario 1³¹

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	55,8%	47,8%	102,7%	93,1%	108,9%
Nutzung	62,9%	59,0%	19,0%	28,5%	17,0%
Entsorgung	4,2%	3,9%	8,5%	7,2%	7,5%
Gutschrift	-22,9%	-10,7%	-30,3%	-28,7%	-33,3%
Summe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 13 Umweltauswirkungen Szenario 2

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	257,28	13,93	0,12	0,01	0,01
Nutzung	510,89	30,33	0,04	0,005	0,003
Entsorgung	19,19	1,14	0,01	0,001	0,001
Gutschrift	-105,37	-3,11	-0,04	-0,003	-0,003
Summe	681,99	42,28	0,14	0,01	0,01

Tabelle 14 Prozentuale Anteile der Umweltauswirkungen Szenario 2

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	37,7%	32,9%	89,7%	76,4%	96,4%
Nutzung	74,9%	71,7%	29,3%	41,2%	26,5%
Entsorgung	2,8%	2,7%	7%	5,9%	6,6%
Gutschrift	-15,5%	-7,3%	-26,5%	-23,6%	-29,5%
Summe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 15 Umweltauswirkungen Szenario 3

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	257,28	13,93	0,12	0,01	0,01
Nutzung	772,59	45,86	0,061	0,007	0,004
Entsorgung	19,19	1,14	0,01	0,001	0,001
Gutschrift	-105,37	-3,11	-0,04	-0,003	-0,003
Summe	943,69	57,82	0,16	0,01	0,01

³¹ Aufgrund der Gutschriften für das Recycling liegt die Summe der einzelnen Anteile (und teilweise auch der Wert für die Herstellungsphase) über 100%.

Tabelle 16 Prozentuale Anteile der Umweltauswirkungen Szenario 3

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	27,3%	24,1%	78,0%	63,1%	84,9%
Nutzung	81,9%	79,3%	38,5%	51,5%	35,3%
Entsorgung	2,0%	2,0%	6,5%	4,9%	5,8%
Gutschrift	-11,2%	-5,4%	-23,0%	-19,4%	-26,0%
Summe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 17 Umweltauswirkungen Szenario 4

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	257,28	13,93	0,12	0,01	0,01
Nutzung	993,71	58,99	0,08	0,01	0,01
Entsorgung	19,19	1,14	0,01	0,001	0,001
Gutschrift	-105,37	-3,11	-0,04	-0,003	-0,003
Summe	1.164,81	70,95	0,18	0,02	0,01

Tabelle 18 Prozentuale Anteile der Umweltauswirkungen Szenario 4²⁸

	KEA [MJ]	GWP [kg CO ₂ e]	AP [kg SO ₂ e]	EP [kg PO ₄ e]	POCP [kg Eth.e]
Herstellung	22,1%	19,6%	70,2%	55,0%	77,1%
Nutzung	85,3%	83,1%	44,6%	57,7%	41,2%
Entsorgung	1,6%	1,6%	5,8%	4,2%	5,3%
Gutschrift	-9,0%	-4,4%	-20,7%	-17,0%	-23,6%
Summe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Abbildungen 14 bis 16 zeigen einen Vergleich der Umweltauswirkungen in den Szenarien 1 bis 4.

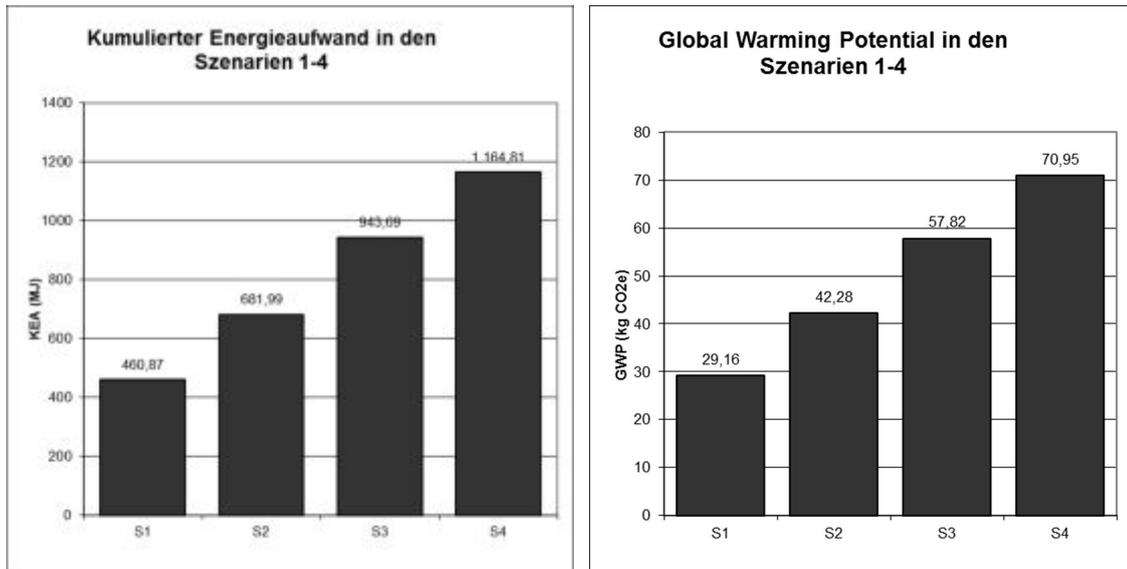


Abbildung 14 (links) Vergleich des kumulierten Energieaufwandes in den Szenarien 1-4

Abbildung 15 (rechts) Vergleich des Treibhauspotenzials in den Szenarien 1-4

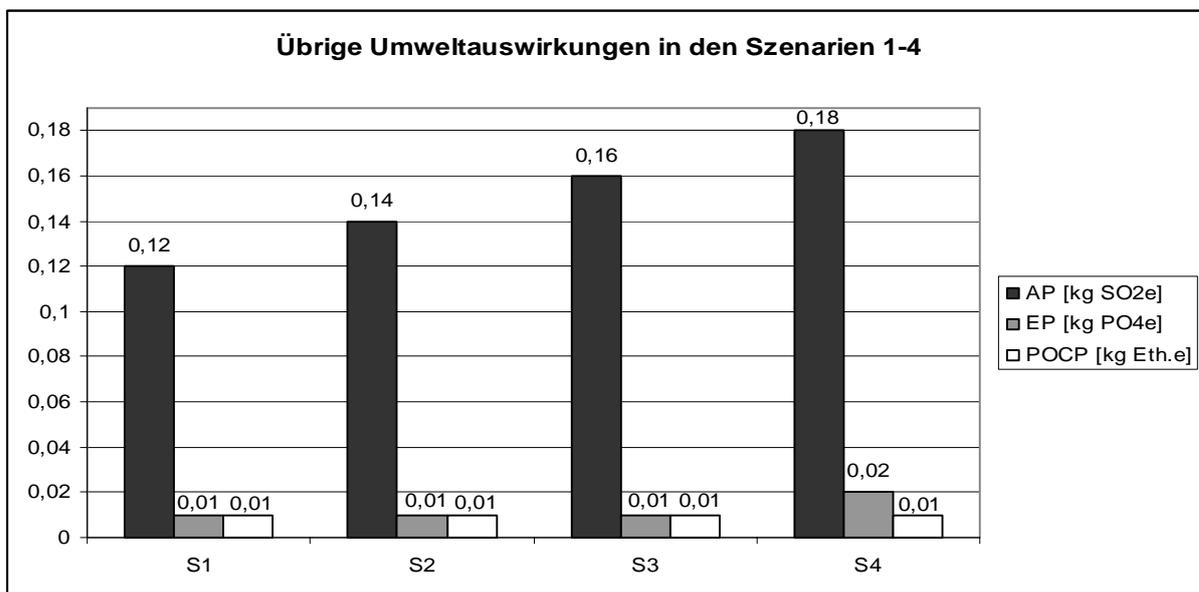


Abbildung 16 Vergleich des Versauerungs- und Eutrophierungspotentials sowie der photochemischen Ozonbildung in den Szenarien 1-4

Die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien zeigen die hohe Bedeutung von Wirkungsgrad und Standby-Verlusten für den kumulierten Energieaufwand, das Treibhauspotenzial und das Versauerungspotenzial. Hingegen ist kaum ein Effekt auf das Eutrophierungspotenzial oder photochemische Oxidantienbildung zu bemerken. Weiter wird

deutlich, dass der Wirkungsgrad gegenüber dem Standbyverlust den größeren Effekt hat: In Szenario 3 (niedriger Wirkungsgrad, niedriger Standbyverlust) sind die Umweltauswirkungen höher als in Szenario 2 (hoher Wirkungsgrad, hoher Standbyverlust).

Abbildung 17 bis Abbildung 21 zeigen, wie sich die Bedeutung der einzelnen Lebenszyklusphasen je nach Umweltauswirkung und Szenario unterscheidet. Hierfür wurden die Summen der Umweltwirkungen (ohne Gutschriften) im Gegensatz zur Darstellung in Tabelle 12, Tabelle 14, Tabelle 16 und Tabelle 18 auf 100% normiert.

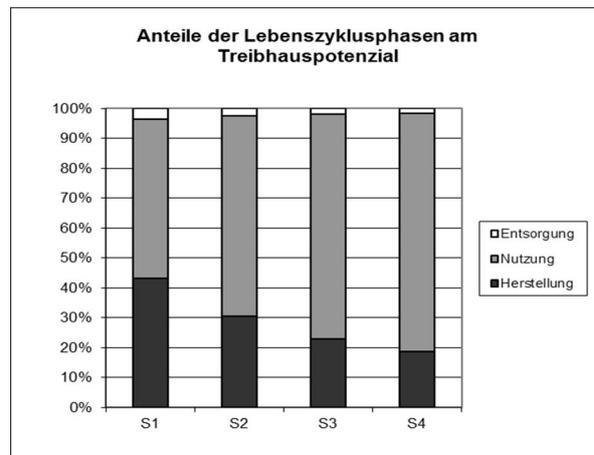
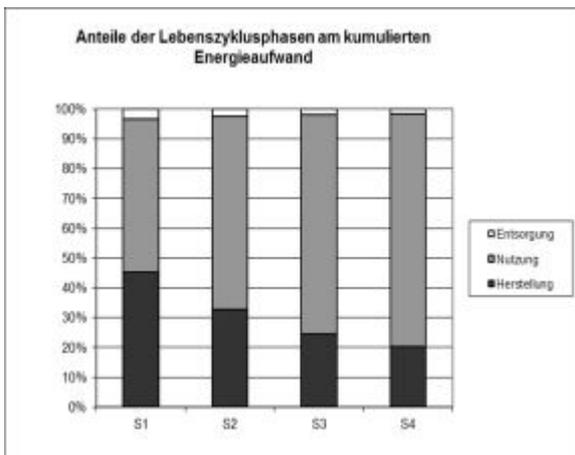


Abbildung 17 (li.), Abbildung 18 (re.) Anteile der Lebenszyklusphasen am kumulierten Energieaufwand und Treibhauspotenzial

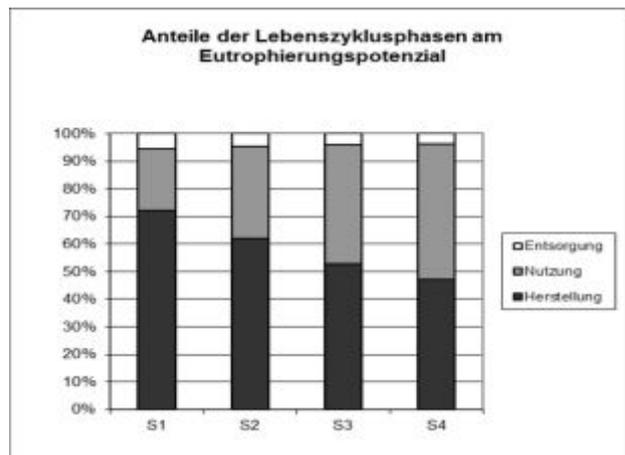
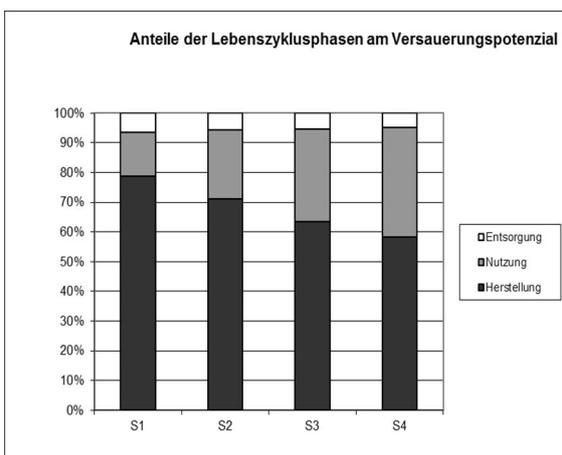


Abbildung 19 (li.), Abbildung 20 (re.) Anteile der Lebenszyklusphasen am Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial

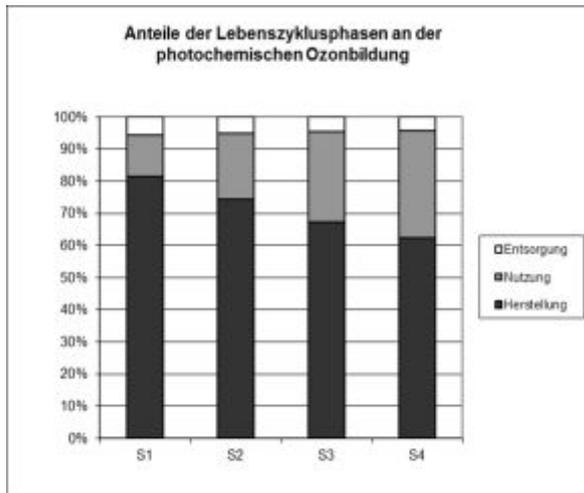


Abbildung 21 Anteile der Lebenszyklusphasen an der photochemischen Ozonbildung

Deutlich wird, dass die Nutzungsphase den größten Einfluss auf den kumulierten Energieaufwand und das Treibhauspotenzial hat, während die übrigen Umweltwirkungen vor allem durch die Herstellungsphase bestimmt sind. Außerdem steigt der Einfluss der Herstellungsphase im Vergleich mit der Nutzungsphase, je effizienter ein Wechselrichter ist.

Für Vergabekriterien bedeutet das, dass insbesondere dem Wirkungsgrad, aber auch dem Standby-Verlust Beachtung zu schenken ist, um Klimaschutz- und Energieeinsparziele zu erreichen. Um weitere Umweltauswirkungen zu minimieren, ist hingegen die Herstellungsphase von besonderer Bedeutung.

Im Folgenden wird der Einfluss der einzelnen Materialien / Komponenten auf die Umweltauswirkungen der Herstellungsphase genauer aufgeschlüsselt:

- Kumulierter Energieaufwand: 50% des kumulierten Energieaufwandes werden allein durch elektronische Bauelemente³² verursacht, wobei die integrierte Schaltung den größten Anteil der Bauelemente einnimmt. 10% werden durch die Stahlherstellung und -verarbeitung verursacht.
- Treibhauspotenzial: Die Anteile der einzelnen Materialien verhalten sich ähnlich wie beim KEA. Die elektronischen Bauelemente verursachen knapp 50% des Treibhauspotenzials, die Stahlherstellung und -verarbeitung ist für gut 11% verantwortlich.
- Versauerungspotenzial: 46% des Versauerungspotenzials werden durch die Kupferherstellung und -verarbeitung verursacht. Die elektronischen Bauelemente machen einen Anteil von knapp 30% aus.
- Eutrophierungspotenzial: Die Kupferherstellung und -verarbeitung spielt mit einem Anteil von 27% ebenfalls eine wichtige Rolle. Der Anteil der elektronischen

³² Als elektronische Bauelemente werden im Folgenden zusammengefasst: die Leiterplatte, Kondensatoren, Induktivitäten, Widerstände und Halbleiter.

Bauelemente liegt bei 40%, wobei die integrierte Schaltung mit 16% erneut den größten Einfluss hat.

- Photochemische Oxidantienbildung: Der Anteil der Kupferherstellung und -verarbeitung beträgt 31%, die Stahlherstellung und -verarbeitung liegt bei rund 10%. Die elektronischen Bauelemente tragen mit über 30% zur photochemischen Oxidantienbildung bei. Abbildung 22 stellt diese Ergebnisse zusammengefasst dar.

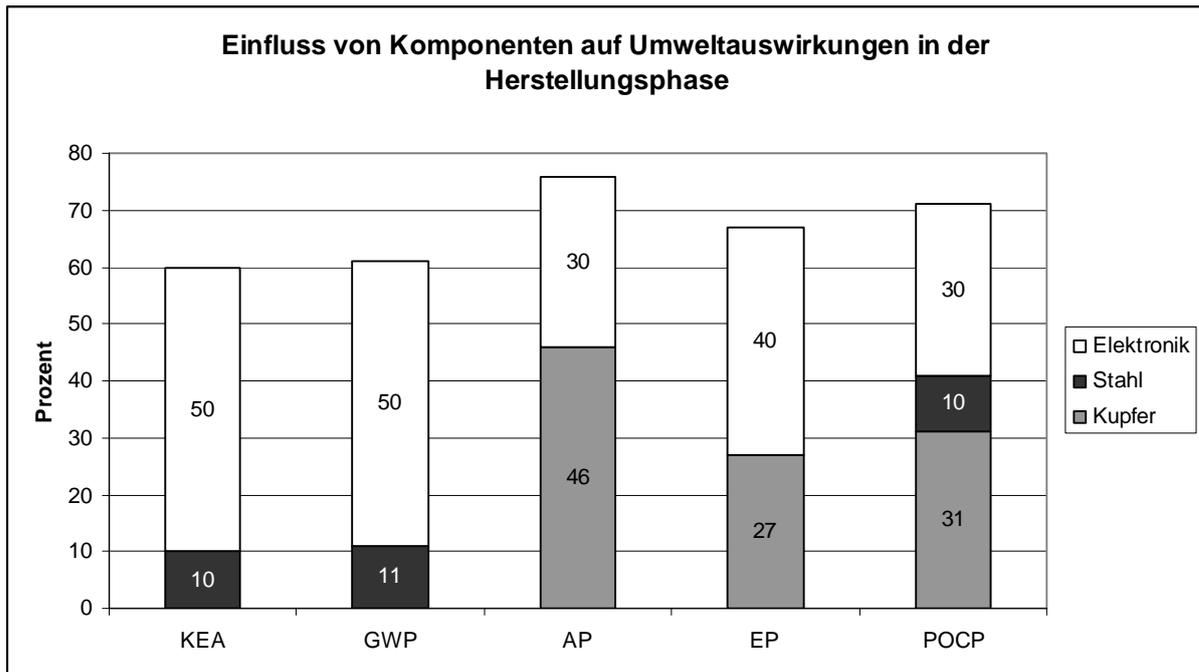


Abbildung 22 Einfluss verschiedener Komponenten eines Wechselrichters auf die Umweltauswirkungen in der Herstellungsphase

Daraus ergibt sich, dass dem Recycling der elektronischen Bauelemente und Kupfer bei der Ableitung von Vergabekriterien besondere Bedeutung zu schenken ist; in zweiter Linie spielt auch das das Recycling von Stahl eine Rolle.

2.2 Analyse der Lebenszykluskosten

In der vorliegenden Studie werden die Kosten aus Sicht der privaten Haushalte berechnet.

Berücksichtigt wurden folgende Kostenarten:

- Investitionskosten (Kosten für die Anschaffung eines PV-Wechselrichters),
- Betriebs- und Unterhaltskosten: Stromkosten.

Reparatur- und Entsorgungskosten wurden mangels Datenverfügbarkeit nicht berücksichtigt. Über Reparaturen existieren noch keine langjährigen Datenreihen. Bei der Entsorgung gibt

es keine einheitliche Regelung, da PV-Wechselrichter nicht vom Elektro- und Elektronikgerätesgesetz erfasst sind. Einzelne Hersteller übernehmen die Entsorgung kostenfrei (es ist davon auszugehen, dass diese Kosten dann im Anschaffungspreis eingepreist sind); ansonsten dürften die Preise für eine fachgerechte Entsorgung je nach kommunaler Praxis variieren.

2.2.1 Investitionskosten

Wie bereits in der Marktanalyse in Kapitel 1.3.2 dargestellt, variieren die Preise für die Anschaffung eines PV-Wechselrichters stark. Bei Wechselrichtern mit einer Größe bis zu 5 kW liegt die Preisspanne zwischen 600 und 2.400 Euro, für Anlagen mit einer Größe zwischen 5 und 10 kW zwischen 1.300 und 3.500 Euro.

Für die nachfolgenden Berechnungen wird ein Durchschnittspreis von 1.500 Euro angenommen.

2.2.2 Entgangene Einspeisevergütung

Wie bereits in Kapitel 2.1.2 erwähnt, weisen PV-Wechselrichter in Abhängigkeit von ihrem Wirkungsgrad unterschiedliche Verluste im Betrieb auf; zudem unterscheidet sich die Leistungsaufnahme im Standby. Es wird der Einfachheit halber angenommen, dass der PV-Wechselrichter keinen Strom aus dem Netz bezieht; die Verluste werden statt dessen von der Einspeisung der PV-Anlage abgezogen und die Stromkosten als entgangene Einspeisevergütung berechnet. Dies ist eine konservative Annahme, da die Stromkosten hierdurch geringfügig höher ausfallen als bei Strombezug aus dem Netz.

Tabelle 19 zeigt für jedes betrachtete Szenario die entgangene Einspeisevergütung, die sich aus den Verlusten im Betrieb und im Standby ergibt. Je nach Szenario liegt diese zwischen 9 und 29 Euro pro kWp.

Tabelle 19 Entgangene Einspeisevergütung der betrachteten Szenarios

	Verluste im Betrieb [kWh/kWp]	Verluste während der Nacht [kWh/kWp]	Verluste gesamt [kWh/kWp]	entgangene Einspeisevergütung [€/kWp] ³³
Szenario 1	28,70	0,00	28,70	8,25
Szenario 2	28,70	21,90	50,60	14,54
Szenario 3	76,52	0,00	76,52	21,99
Szenario 4	76,52	21,90	98,42	28,29

³³ Zugrunde gelegt wurde die Vergütung für den Zeitraum 1. Juli 2011 – 31. Dezember 2011 für Anlagen unter 30 kWp, die im selben Jahr in Betrieb genommen wurden (Neuanlagen), nach Beschluss der Bundesnetzagentur vom 16.6.2011. Vgl. Bundesnetzagentur (2011). Diese beträgt 28,74 ct/kWh.

Wie aus der Tabelle hervorgeht, liegt die entgangene Einspeisevergütung zwischen 9 und 29 Euro pro Kilowatt installierter Spitzenleistung (kWp). Die Verluste im Betrieb sind bei dem PV-Wechselrichter mit niedrigem Wirkungsgrad um knapp 48 kWh/kWp höher als bei dem mit hohem Wirkungsgrad (Szenario 1 und 2 im Vergleich zu Szenario 3 und 4). Die Differenz beim Nachtverlust beträgt über 21 kWh/kWp.

Dieses Beispiel verdeutlicht den Einfluss des Wirkungsgrades. Geht man von einem PV-Wechselrichter mit einer Anlagengröße von 2,5 kWp und einer Laufzeit von 5 Jahren aus, belaufen sich die Unterschiede zwischen einem effizienten und einem ineffizienten Wechselrichter im Betrieb auf rund 600 kWh, d.h. 170,82 EUR. Die Unterschiede beim Nachtverlust sind nicht ganz so groß, aber dennoch nicht zu vernachlässigen. Sie liegen bei rund 265 kWh oder 75,65 EUR bezogen auf die gleichen Annahmen.

2.2.3 Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse

Die jährlichen Gesamtkosten setzen sich aus den anteiligen Anschaffungskosten sowie der entgangenen Einspeisevergütung zusammen.

Tabelle 20 Lebenszykluskostenanalyse der betrachteten Szenarios

	anteilige Anschaffungskosten [€/a]	entgangene Einspeisevergütung [€/kWp]	Jährliche Gesamtkosten [€/kWp/a]
Szenario 1	300	8,25	308,25
Szenario 2	300	14,54	314,54
Szenario 3	300	21,99	321,99
Szenario 4	300	28,29	328,29

Wie aus Tabelle 20 hervorgeht, fallen für die PV-Wechselrichter jährliche Gesamtkosten zwischen 309 und 329 Euro an. Die anteiligen Anschaffungskosten sind hierbei die relevante Kostengröße. Diese reduzieren sich bei einer längeren Lebensdauer der Geräte. Für die Berechnung wurde eine konservative Annahme von 5 Jahren zugrunde gelegt, die der durchschnittlichen Garantiezeit entspricht. Hersteller werben jedoch mit einer Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren. Zudem ist zu beachten, dass die entgangene Einspeisevergütung mit der Anlagengröße zusammenhängt.

Amortisation

Amortisationszeiten wurden nicht berechnet, da sich der eingespeiste Strom nicht methodisch sauber einem einzelnen Anlagenbestandteil (wie dem Wechselrichter) zuordnen lässt.

3 Teil III: Gesamtbewertung und Ableitung der Vergabekriterien

Die Nutzenanalyse zeigt, dass der wichtigste gesellschaftliche und individuelle Nutzen des PV-Wechselrichters darin besteht, die von der Solaranlage gelieferte Energie möglichst zuverlässig effizient umzuwandeln und ins Netz einzuspeisen. Das Hauptaugenmerk sollte daher auf dem Wirkungsgrad (der ein leistungsfähiges MPP-Tracking einschließt) und auf der Lebensdauer bzw. einem entsprechenden Service liegen. In Zukunft wird außerdem die Beteiligung am Netzmanagement zunehmend wichtig und gefordert werden.

Weiter gibt es keinen technischen Grund, aus dem Solarwechselrichter umwelt- und gesundheitsschädliche Chemikalien enthalten müssten. Produkte mit dem Blauen Engel sollten daher unbedingt über die geltende Rechtslage hinausgehen und die RoHS-Kriterien einhalten, auch wenn diese bisher formal für PV-Produkte nicht gelten. Auch weitere als gefährlich eingestufte Substanzen wie TBBPA sollten nicht enthalten sein.

Schließlich sollte es selbstverständlich sein, dass Solarwechselrichter Qualitätsstandards hinsichtlich weiterer Umweltparameter wie Geräuschentwicklung, elektromagnetische Verträglichkeit und Standby-Verbrauch einhalten.

Wo möglich, sollten Vergabekriterien auf vorhandenen Qualitätskriterien aufbauen, um Mehrfacharbeit für die Hersteller zu vermeiden. Daher werden die RAL-Gütekriterien im Folgenden für die Formulierung der Vergabegrundlage herangezogen.

Kriterien für den Funktionsumfang (etwa Überwachungs- und Kontrollfunktionen) wie in RAL GZ 966 werden jedoch nicht formuliert. Zum einen verfügen fast alle PV-Wechselrichter ohnehin über diese Funktionen; zum anderen liegt es in der Wahlfreiheit des PV-Betreibers, welchen Funktionsumfang er wünscht.

3.1 Geltungsbereich

Die Vergabegrundlage gilt für netzgeführte Strang- und Multistrangwechselrichter mit oder ohne Trafo in der Größenordnung bis 11 kW; die üblichen Typen für netzgekoppelte Haus- oder kleine Gewerbeanlagen.

3.2 Energieeffizienz

3.2.1 Wirkungsgrad

Die Geräte sollen einen Gesamtwirkungsgrad von mindestens 95,5% erreichen. Damit werden sie gemäß den umfangreichen Tests der Zeitschrift Photon zu den knapp 22% besten Geräten dieser Größenklasse gehören. Der Wirkungsgrad ist nach DIN EN

50530:2010 unter Berücksichtigung von DIN EN 61683:2000 zu messen. Ein Unsicherheitsfaktor besteht darin, dass die Messmethoden nach Photon und die Messmethoden nach DIN EN 50530 sich leicht unterscheiden. Da beiden Verfahren jedoch die gleiche Grundmethodik zugrunde liegt und die Photon-Messung lediglich durch die höhere Anzahl von Messpunkten etwas genauer ist, dürfte sich diese Abweichung nicht zum Nachteil der Produkte auswirken.

3.2.2 Standby- und Nachtverbrauch

Der Standby-Verbrauch darf nicht über 1 W liegen. Dies entspricht der derzeit gültigen Anforderung der Durchführungsverordnung Ökodesign-Richtlinie; die technische Machbarkeit wurde bereits mehrfach demonstriert. Der Nachtverbrauch muss bei 0 W liegen (Nachtabschaltung); die technische Machbarkeit dieser Forderung wird bereits vielfach bewiesen.

3.3 Beteiligung am Netzmanagement

Die Wechselrichter müssen die nach der VDE-Anwendungsregel VDE-AR-4105 geforderten Fähigkeiten zum Netzmanagement besitzen, insbesondere die Fähigkeit zur Bereitstellung von Blindleistung und zur frequenzabhängigen Wirkleistungsreduktion. Eine Fernsteuerbarkeit wird hingegen nicht gefordert, da eine Fernsteuerung bei kleinen Anlagen für Netzbetreiber voraussichtlich nicht wirtschaftlich ist.

3.4 Lebensdauer

Standardmäßige Garantiezeiten liegen bei 5 Jahren. Da die Lebensdauer der Module bis zu 30 Jahre betragen kann und die Hersteller selber ihre Wechselrichter auf 20 Jahre Lebensdauer anlegen, sollte bei Blauer-Engel-Produkten darüber hinausgegangen werden. Die Hersteller sollen eine Mindestgarantie über 7 Jahre und die Option einer Garantieverlängerung auf 20 Jahre anbieten. Zudem sollen die Hersteller ein Servicekonzept darlegen, das einen Ersatz defekter Geräte innerhalb von maximal 48 Stunden enthält.

3.5 Materialanforderungen

Die Geräte sollen die Bestimmungen der RoHS-Richtlinie einhalten; demnach dürfen Blei, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom, polybromiertes Biphenyl (PBB) bzw. polybromierten Diphenylether (PBDE) nicht enthalten sein. Darüber hinaus darf TBBPA nicht enthalten sein.

Weitere Kriterien für gefährliche Stoffe enthalten der XIII der EG-Verordnung 1907/2006 (REACH-Verordnung) (persistente, bioakkumulierbare und toxische (PBT) oder sehr persistente und sehr bioakkumulierbar (vPvB)-Stoffe) sowie der Anhang I Teil 3 der EG-Verordnung 1272/2008³⁴ (krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe). Entsprechende Stoffe sind in den Tabellen 3.1 und 3.2, Anhang VI, der VO 1272/2008 gelistet. Auch solche Stoffe dürfen nicht enthalten sein.

3.6 Recyclingfähigkeit

PV-Wechselrichter mit dem Blauen Engel müssen sich durch eine recyclinggerechte Konstruktion auszeichnen, die es erlaubt, Kupfer und Stahl sowie elektronische Komponenten wiederzuverwerten. Darüber hinaus müssen die Hersteller eine kostenlose Rücknahme und Recycling oder fachgerechte Entsorgung der Geräte garantieren.

3.7 Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit

Sicherheitsbestimmungen gemäß der RAL-Gütekriterien sind einzuhalten; die elektromagnetische Verträglichkeit gemäß der einschlägigen Normen ist sicherzustellen.

3.8 Geräusentwicklung

Der Vorschlag für die Begrenzung der Geräusentwicklung beträgt 55 dB(A). Der Vorschlag orientiert sich an DIN EN ISO 11690-1 für Bürogeräte. Die Schalldruckpegel der PV-Wechselrichter, soweit von den Herstellern angegeben, liegen darunter.

3.9 Verbraucherinformation

Auf dem Datenblatt müssen alle für den Betreiber relevanten Angaben enthalten sein, auch die bisher oft nicht angegebenen Parameter Geräusentwicklung, Standby- und Nachtverbrauch. Diese Anforderung ist erfüllt, wenn das Datenblatt den RAL-Gütekriterien entspricht.

³⁴ Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (Text von Bedeutung für den EWR)

3.10 Ableitung einer Vergabegrundlage

Die Bedingungen zur Nutzung eines Umweltzeichens für PV-Wechselrichter sind in einer Vergabegrundlage dokumentiert, die auf Grundlage der durchgeführten Untersuchung und der abgeleiteten Vergabekriterien sowie der Diskussionen auf der Expertenanhörung am 5.10.2011 in St. Augustin erarbeitet wurde.

Diese Vergabegrundlage enthält die Produktdefinition (Geltungsbereich), die verschiedenen Anforderungen an das Produkt mit den zu erbringenden Nachweisen, die formalen Bedingungen zur Zeichennutzung und einen Mustervertrag, den interessierte Zeichennnehmer mit der Zeichenvergabestelle abschließen müssen, bevor sie das Umweltzeichen benutzen dürfen. Die Vergabegrundlage „PV-Wechselrichter“ ist im Anhang dieser Studie abgedruckt.

4 Literatur

- | | |
|----------------------------|---|
| BDEW 2008 | Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW); Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz. Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz. Ausgabe Juni 2008; http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/AC1764483F70B97FC125766C0004C85A/\$file/BDEW_RL_EA-am-MS-Netz_Juni_2008_end.pdf |
| Bundesnetzagentur 2011 | Degressions- und Vergütungssätze für solare Strahlungsenergie nach den §§ 32 und 33 EEG ab dem 01.01.2011: http://www.solarserver.de/fileadmin/user_upload/downloads/Verguetungssaetze2011.pdf |
| Bunke et al. 2002 | Bunke, D.; Grießhammer, R.; Gensch, C.-O.; EcoGrade – die integrierte ökologische Bewertung; UmweltWirtschaftsForum; Springer-Verlag. 10. Jg.; H. 4; Dezember 2002. |
| CML 2009 | Institute of Environmental Sciences, Leiden University (CML). CML-IA is a database that contains characterisation factors for life cycle impact assessment (LCIA). Website: http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html |
| DCTI 2011 | Deutsches CleanTech Institut; Branchenführer PV 2011. Fakten und Akteure; http://www.dcti.de/studien/branchenfuehrer/de/ |
| EEG-Erfahrungsbericht 2011 | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Erfahrungsbericht 2011 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht); Entwurf; Stand 3.5.2011; http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/47342/4590/ |

ElektroG	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 16. März 2005 (BGBl. I S. 762), zuletzt geändert durch Art. 11 G v. 31.7.2009 I 2585.
Grießhammer et al. 2007	Grießhammer, R.; Buchert, M.; Gensch, C.-O.; Hochfeld, C.; Manhart, A.; Rüdenauer, I.; in Zusammenarbeit mit Ebinger, F.; Produkt-Nachhaltigkeits-Analyse (PROSA) - Methodenentwicklung und Diffusion; Freiburg, Darmstadt, Berlin 2007.
Groß et al. 2008	Groß, R.; Bunke, D.; Gensch, C.; Zangl, St.; Manhart, A.; Study on Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, Not Regulated by the RoHS Directive. Final report; Freiburg: Öko-Institut 2008.
Häberlin 2005	Häberlin, H.; Wirkungsgrade von Photovoltaik-Wechselrichtern; Elektrotechnik 2/2005; S.53-57
Häberlin et al. 2006	Häberlin, H.; Kämpfer, M.; Zwahlen, U.; Neue Tests an Photovoltaik-Wechselrichtern: Gesamtübersicht über Testergebnisse und gemessene totale Wirkungsgrade; Vortrag auf dem 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie in Staffelstein; http://labs.ti.bfh.ch/fileadmin/user_upload/lab1/pv/wrt_stst06.pdf
Heijungs et al. 1992	Heijungs, R. (final ed.); Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide (part 1) and Backgrounds (Part 2); prepared by CML, TNO and B&G; Leiden 1992.
Heup 2011	Heup, J; Vorteil Deutschland; Neue Energie 1/2011; S. 58-61.
IEA 2009	International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme; Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity; IEA PVPS Task 12, Subtask 20; October 2009; http://www.iea-pvps-task12.org/fileadmin/IEA-PVPS_Docs/Images/LCA_guidelines-8-2-10.pdf
IMS Research 2011	IMS Research: 2010 PV Inverter Market Share Gainers Revealed by IMS Research. Press release, May 3, 2011. http://imsresearch.com/press-release/_2001&from=
IPCC 2007	Intergovernmental panel on climate change (IPCC), Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. 2007 http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm
Photon Laboratory 2010	PHOTON-Wechselrichtertest: Über 50 Geräte verschiedener Hersteller getestet und bewertet; Photon Laboratory Juni 2010; S. 1-8; http://www.photon.info/AxCMSwebLive_PremiumSample/upload/Inverter_Test_2009_Infolyer_de_255.pdf

- Roos et al. 2011 Roos, M; Henze, N; Seeber, S; Herold, M; Kurtze, L; Ellermeier, W; Messung und psychoakustische Bewertung der Betriebsgeräusche von PV-Wechselrichtern; 26. Symposium Photovoltaische Solar-energie, Bad Staffelstein, 02.-04. März 2011; http://www.iset.uni-kassel.de/abt/FB-A/publication/2011/2011_Staff_Messungen.pdf
- Saurat & Ritthoff 2010 Saurat, M.; Ritthoff, M.; Photovoltaics and the RoHS Directive; Position Paaper; Wuppertal Institut Mai 2010; [http://www.ntsaeu/resources/Wuppertal+Institute+RoHS+position+paper\\$2C+May+2010+final.pdf](http://www.ntsaeu/resources/Wuppertal+Institute+RoHS+position+paper$2C+May+2010+final.pdf)
- SMA 2011 SMA: Die neue VDE-Anwendungsregel (VDE-AR-N 4105). Dritte überarbeitete Auflage August 2011, http://files.sma.de/dl/1348/Flyer_NiedersprADE113112W.pdf
- StiWa 2006 Stiftung Warentest; Mehr Licht als Schatten; Test von Solarmodulen und Solarwechselrichtern; test 5/2006; S. 66-73.
- SVTC 2009 Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC); Toward a Just and Sustainable Solar Energy Industry; A Silicon Valley Toxics Coalition White Paper; January 14, 2009; http://svtc.org/wp-content/uploads/Silicon_Valley_Toxics_Coalition_-_Toward_a_Just_and_Sust.pdf

5 Anhang

5.1 Anhang I: die berücksichtigten Wirkungskategorien der vereinfachten Ökobilanz

- Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA)
- Treibhauspotential (GWP)
- Versauerungspotential (AP)
- Eutrophierungspotential (EP)
- Photochemische Oxidantienbildung (POCP)

5.1.1 Kumulierter Primärenergiebedarf

Die energetischen Rohstoffe werden anhand des Primärenergieverbrauchs bewertet. Als Wirkungsindikatorwert wird der nicht-regenerative (d.h. fossile und nukleare) Primärenergieverbrauch als kumulierter Energieaufwand (KEA) angegeben.

5.1.2 Treibhauspotential

Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, welches das Treibhauspotential des Einzelstoffs relativ zu Kohlenstoffdioxid kennzeichnet. Als Indikator wird das Gesamtreibhauspotential in CO₂-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach IPCC 2007 berücksichtigt.

5.1.3 Versauerungspotential

Schadstoffe, die als Säuren oder aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurefreisetzung zur Versauerung von Ökosystemen beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Versauerungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Versauerungspotenzial kennzeichnet die Schadwirkung eines Stoffes als Säurebildner relativ zu Schwefeldioxid. Als Indikatoren für die Gesamtbelastung wird das Gesamtversauerungspotenzial in SO₂-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

5.1.4 Eutrophierungspotential

Nährstoffe, die zur Überdüngung (Eutrophierung) aquatischer und terrestrischer Ökosysteme beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Eutrophierungspotenzials bilanziert

und aggregiert. Das Eutrophierungspotenzial kennzeichnet die Nährstoffwirkung eines Stoffs relativ zu Phosphat. Als Indikator für die Gesamtbelastung werden das aquatische und das terrestrische Eutrophierungspotenzial in Phosphat-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

5.1.5 Photochemische Oxidantienbildung

Zu den Photooxidantien gehören Luftschadstoffe, die zum einen zu gesundheitlichen Schädigungen beim Menschen, zum anderen zu Schädigungen von Pflanzen und Ökosystemen führen können. Den leichtflüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) kommt eine zentrale Rolle zu, da sie Vorläufersubstanzen sind, aus denen Photooxidantien entstehen können. Als Indikator für die Gesamtbelastung wird das Photooxidantienbildungspotenzial in Ethylen-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

5.2 Anhang II: Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel

Vergabegrundlage für Umweltzeichen

Photovoltaik Wechselrichter

RAL-UZ 163



Ausgabe Januar 2012

RAL gGmbH

Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, Germany, Telefon: +49 (0) 22 41-2 55 16-0
Telefax: +49 (0) 22 41-2 55 16-11

Internet: www.blauer-engel.de, e-mail: umweltzeichen@RAL-gGmbH.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Vorbemerkung	3
1.2	Hintergrund	3
1.3	Ziel des Umweltzeichens	4
1.4	Begriffsbestimmungen	4
2	Geltungsbereich	4
3	Anforderungen	5
3.1	Energieeffizienz	5
3.1.1	Gesamtwirkungsgrad	5
3.1.2	Leerlaufverlust	5
3.2	Blindleistungsfähigkeit	6
3.3	Langlebigkeit	6
3.3.1	Garantie	6
3.3.2	Service	6
3.4	Materialanforderungen	7
3.4.1	Allgemeine Anforderungen an Kunststoffe	7
3.4.2	Zusätzliche Anforderungen an die Kunststoffe der Gehäuse und Gehäuseteile	9
3.4.3	Zusätzliche Anforderungen an die Kunststoffe der Leiterplatten	10
3.4.4	Anforderungen an die elektronischen Bauteile	10
3.5	Recycling und Entsorgung	11
3.5.1	Recyclingfähigkeit	11
3.5.2	Rücknahme	11
3.6	Sicherheit	11
3.7	Elektromagnetische Verträglichkeit	12
3.8	Geräuschemission	12
3.9	Verbraucherinformation	13
4	Zeichennehmer und Beteiligte	13
5	Zeichenbenutzung	13
	Anhang 1: Datenblattangaben für PV-Wechselrichter	1

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung

Die Jury Umweltzeichen hat in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, dem Umweltbundesamt und unter Einbeziehung der Ergebnisse der von der RAL gGmbH einberufenen Anhörungsbesprechungen diese Grundlage für die Vergabe des Umweltzeichens beschlossen. Mit der Vergabe des Umweltzeichens wurde die RAL gGmbH beauftragt. Für alle Erzeugnisse, soweit diese die nachstehenden Bedingungen erfüllen, kann nach Antragstellung bei der RAL gGmbH auf der Grundlage eines mit der RAL gGmbH abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages die Erlaubnis zur Verwendung des Umweltzeichens erteilt werden.

1.2 Hintergrund

Die Bundesregierung strebt im Kontext der Energiewende an, den Strombedarf bis 2020 zu 35 Prozent aus erneuerbaren Energien zu decken. Dabei spielt die Photovoltaik eine wachsende Rolle. Auch wenn der Zubau weiterer Anlagen in Zukunft langsamer erfolgen wird, wird der Anteil photovoltaisch erzeugten Stroms weiter wachsen. Daraus ergeben sich verschiedene Herausforderungen:

- Die verfügbare Fläche für photovoltaische Installationen ist begrenzt. Daher ist es wichtig, die vorhandene Fläche so effizient wie möglich zu nutzen, also die Erzeugungseffizienz der photovoltaischen Anlagen zu steigern. Dies bedeutet darüber hinaus auch höhere Einnahmen für den Anlagenbetreiber und steigert damit den Anreiz zur Installation von PV-Anlagen.
- Die schwankende Erzeugung der Photovoltaik stellt eine Herausforderung für Netzmanagement und Netzstabilität dar. Die Anlagen müssen sich daher am Netzmanagement beteiligen.

Für beide Aufgaben ist die Qualität der PV-Wechselrichter von hoher Bedeutung. Neben der Moduleffizienz entscheidet der Wirkungsgrad der Wechselrichter über die Gesamteffizienz der Anlage. Moderne Wechselrichter können zudem zunehmend Aufgaben im Bereich Netzmanagement mit übernehmen, wie Bereitstellung von Blindleistung, gesteuertes Abschalten bei Frequenzüberschreitungen oder Fernsteuerbarkeit.

Darüber hinaus enthalten Wechselrichter wie alle leistungselektronischen Produkte wertvolle Materialien, unter Umständen aber auch Schadstoffe. Der Schadstoffgehalt und das mögliche Recycling von Wechselrichtern sind bisher nicht durch die RoHS- und WEEE-Direktiven geregelt, von denen PV-Produkte ausgenommen sind. Das Recycling von Wechselrichtern ist zur Zeit noch nicht weit entwickelt. Daher besteht hier ein breiter Spielraum für freiwillige Initiativen.

Auch weitere Qualitätsaspekte wie niedriger Standby-Verbrauch und niedrige Geräusentwicklung werden noch nicht von allen Herstellern beachtet, obwohl von verschiedenen Herstellern gezeigt wird, dass sie technisch unproblematisch lösbar sind.

Ein Umweltzeichen für PV-Wechselrichter kann daher dazu dienen, die Machbarkeit aus Umweltsicht „rundum guter“ Produkte zu demonstrieren, einen Anreiz für deren Herstellung und Vermarktung zu schaffen und entsprechend engagierte Hersteller zu honorieren. Ein solches Umweltzeichen kann auch als Vorbereitung für gesetzliche Initiativen, etwa den Einschluss in die RoHs und WEEE-Direktive dienen.

1.3 Ziel des Umweltzeichens

Das Umweltzeichen zeichnet in allererster Linie PV-Wechselrichter aus, die ihre Kernfunktionen besonders gut erfüllen, d.h. eine hohe Energieeffizienz besitzen und sich am Netzmanagement beteiligen. Mit dem Umweltzeichen ausgezeichnete Produkte müssen darüber hinaus eine lange Lebensdauer besitzen, schadstoffarm und recyclingfähig sein. Weitere Qualitätskriterien sind niedrige Geräusentwicklung, Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit.

1.4 Begriffsbestimmungen

Der „Leerlaufverlust“ eines PV-Wechselrichters ist nach DIN EN 61683 die Leistungsaufnahme eines Wechselrichters, wenn das Gerät mit dem öffentlichen Versorgungsnetz verbunden ist und es auf Wechselstromseite keinen Strom in das Netz einspeist (Ausgangsleistung ist Null).

2 Geltungsbereich

Diese Vergabegrundlage gilt für Strang- und Multistrangwechselrichter bis 13,8 kVA Ausgangsleistung, die für den Einsatz in netzgekoppelten Photovoltaikanlagen vorgesehen sind.

Ausgeschlossen sind:

- Modulwechselrichter und
- Wechselrichter, die für den Einsatz in Inselanlagen vorgesehen sind.

Der Antragsteller erklärt in Anlage 1, dass das Produkt innerhalb des Geltungsbereichs liegt.

3 Anforderungen

3.1 Energieeffizienz

3.1.1 Gesamtwirkungsgrad

Die Geräte müssen einen Gesamtwirkungsgrad η_t nach DIN 50530 von mindestens 95% erreichen. Der Gesamtwirkungsgrad ist wie folgt zu ermitteln:

1. Berechnung des statischen MPPT-Wirkungsgrades ($\eta_{MPPTstat}$) nach DIN EN 50530, Kapitel 4.3, über die in Tabelle 1 angegebenen Spannungsstufen und die in Anhang D1 (Europäischer Wirkungsgrad) angegebenen Leistungsstufen unter Berücksichtigung von DIN EN 61683.
2. Berechnung des Umwandlungswirkungsgrades η_{conv} nach DIN EN 50530, Kapitel 4.5, über die in Tabelle 2 angegebenen Spannungsstufen und die in Anhang D1 (Europäischer Wirkungsgrad) angegebenen Leistungsstufen unter Berücksichtigung von DIN EN 61683.
3. Berechnung des Gesamtwirkungsgrades ($\eta_t = \eta_{MPPTstat} \cdot \eta_{conv}$) nach DIN EN 50530, Kapitel 5, über alle in 1. und 2. genannten Messpunkte (Spannungsstufen nach Tab. 1, Kapitel 4.3 bzw. Tab. 2, Kap. 4.5, Leistungsstufen nach Anhang D1 (Europäischer Wirkungsgrad)).
4. Bildung der Durchschnittswerte des Gesamtwirkungsgrades über alle Spannungsstufen für jede Leistungsstufe.
5. Europäische Gewichtung der Durchschnittswerte nach DIN EN 50530, Anhang D1.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag, nennt den ermittelten Gesamtwirkungsgrad η_t und legt das zugehörige Messprotokoll (Formblatt Anlage 3 zum Vertrag) vor.

3.1.2 Leerlaufverlust

Der Leerlaufverlust darf einen Wert von 0,5 W nicht überschreiten.

Bei PV-Wechselrichtern, die über eine integrierte Datenschnittstelle verfügen, auf die jederzeit über eine Datenverbindung zugegriffen werden kann, darf der Leerlaufverlust 5 Watt nicht überschreiten.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag, nennt den gemessenen Leerlaufverlust und legt als Anlage 4 die zugehörigen Messprotokolle vor. Der Leerlaufverlust ist nach DIN EN 61683, Kap. 7.1 zu messen.

3.2 Blindleistungsfähigkeit

Der Wechselrichter muss in der Lage sein, Blindleistung entsprechend der Anwendungsrichtlinie VDE-AR-N 4105 zur Verfügung zu stellen.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Konformität zur VDE-AR-N 4105 in Anlage 1 zum Vertrag bezogen auf die Blindleistung (VDE-AR-N 4105 Kapitel 5.7.5).

3.3 Langlebigkeit

3.3.1 Garantie

Der Antragsteller bietet standardmäßig eine kostenlose Garantie über mindestens 5 Jahre an. Er bietet gegen Aufpreis Optionen zur Garantieverlängerung auf bis zu 20 Jahre an.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und legt die entsprechenden Produktunterlagen als Anlage 5 vor.

3.3.2 Service

Der Hersteller verfügt über ein Servicekonzept, nach dem defekte Geräte binnen maximal 48 Stunden repariert oder ausgetauscht werden. Innerhalb der Garantiezeit ist der Service kostenlos.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und stellt sein Servicekonzept anhand von geeigneten Unterlagen als Anlage 6 dar.

3.4 Materialanforderungen

3.4.1 Allgemeine Anforderungen an Kunststoffe

Die Kunststoffe dürfen keine Stoffe mit folgenden Eigenschaften enthalten:

- a) Stoffe, die unter der Chemikalienverordnung REACH (1907/2006/EG) als besonders besorgniserregend identifiziert wurden und in die gemäß REACH Artikel 59 Absatz 1 erstellte Liste (sogenannte „Kandidatenliste“) in der zum Zeitpunkt der Antragstellung gültigen Fassung aufgenommen wurden¹,
- b) Stoffe, die gemäß den Kriterien der EG-Verordnung 1272/2008² (oder der Richtlinie 67/548/EWG) mit den folgenden H-Sätzen (R-Sätzen) eingestuft sind oder die die Kriterien für eine solche Einstufung erfüllen:³

¹ Die Kandidatenliste in der jeweils aktuellen Fassung findet sich unter:

http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp

² Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, kurz: GHS-Verordnung.

Die GHS-Verordnung (Globally Harmonized System), die am 20.01.2009 in Kraft getreten ist, ersetzt die alten Richtlinien 67/548/EWG (Stoff-RL) und 1999/45/EG (Zubereitungs-RL). Danach erfolgt die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung für Stoffe bis zum 1. Dezember 2010 gemäß der RL 67/548/EWG und für Gemische (vormals Zubereitungen) bis zum 1. Juni 2015 gemäß der RL 1999/45/EG, nach diesen Daten muss jeweils die GHS-Verordnung angewendet werden. Bis zum 1. Juni 2015 sind für Stoffe sowohl die neuen Gefahrenhinweise (H-Sätze) als die vormals gültigen Risiko-Sätze (R-Sätze) anzugeben.

³ Die harmonisierten Einstufungen und Kennzeichnungen gefährlicher Stoffe finden sich in Anhang VI, Teil 3 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (GHS-Verordnung). Tabelle 3.1 nennt die Einstufungen und Kennzeichnungen nach dem neuen System unter Verwendung von H-Sätzen, Tabelle 3.2 nennt die Einstufungen und Kennzeichnungen nach dem alten System unter Verwendung von R-Sätzen. Die GHS-Verordnung findet sich beispielsweise unter: http://www.reach-info.de/ghs_verordnung.htm.

Ab dem 1. Dezember 2010 soll zudem ein umfassendes Einstufungs- und Kennzeichnungsverzeichnis auf den Internetseiten der ECHA öffentlich zugänglich sein, das darüber hinaus alle Selbsteinstufungen von gefährlichen Stoffen durch die Hersteller enthält.

Toxische Stoffe:

H300	(R28)	Lebensgefahr bei Verschlucken.
H301	(R25)	Giftig bei Verschlucken.
H304	(R65)	Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
H310	(R27)	Lebensgefahr bei Hautkontakt.
H311	(R24)	Giftig bei Hautkontakt.
H330	(R26)	Lebensgefahr bei Einatmen.
H331	(R23)	Giftig bei Einatmen.
H370	(R39/23/24/25/26/27/28)	Schädigt die Organe.
H371	(R68/20/21/22)	Kann die Organe schädigen.
H372	(R48/25/24/23)	Schädigt die Organe.
H373	(R48/20/21/22)	Kann die Organe schädigen.

Krebserzeugende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe:

H340	(R46)	Kann genetische Defekte verursachen.
H341	(R68)	Kann vermutlich genetische Defekte verursachen.
H350	(R45)	Kann Krebs erzeugen.
H350i	(R49)	Kann bei Einatmen Krebs erzeugen.
H351	(R40)	Kann vermutlich Krebs erzeugen.
H360F	(R60)	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H360D	(R61)	Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
H360FD	(R60/61)	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
H360Fd	(R60/63)	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H360Df	(R61/62)	Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H361f	(R62)	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H361d	(R63)	Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H361fd	(R62/63)	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H362	(R64)	Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen.

Gewässergefährdende Stoffe:

H400	(R50)	Sehr giftig für Wasserorganismen.
H410	(R50/53)	Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.
H411	(R51/53)	Giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

Sonstige Gesundheits- oder Umweltwirkungen:

EUH059	(R59)	Die Ozonschicht schädigend.
EUH029	(R29)	Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase.
EUH031	(R31)	Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase.
EUH032	(R32)	Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase.
EUH070	(R39-41)	Giftig bei Berührung mit den Augen.

Von den Regelungen a) und b) ausgenommen sind:

- Stoffe, als Verunreinigung oder Beimengung als einzelner Bestandteil unterhalb der Berücksichtigungsgrenzwerte entsprechend Artikel 11 der Verordnung 1272/2008 oder unterhalb der Konzentration für die Berücksichtigung im Sicherheitsdatenblatt. Falls nach Verordnung 1272/2008 stoffspezifische Grenzwerte festgelegt sind, sind diese zu berücksichtigen. Gültig ist der jeweils niedrigere Grenzwert.
- Homogene Kunststoffteile mit einer Masse unter 25 Gramm (für Kabel bezieht sich die Masseangabe 25 Gramm nur auf den Kabelkunststoff).

Von der Regelung b) ausgenommen sind:

- Monomere oder Additive, die bei der Kunststoffherstellung zu Polymeren reagieren oder chemisch fest (kovalent) in den Kunststoff eingebunden werden, wenn ihre Restkonzentrationen unterhalb der Einstufungsgrenzen für Gemische liegen.

Kunststoffbauteile mit einer Masse über 25 Gramm, müssen entsprechend der Norm ISO 11469 gekennzeichnet werden.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag, legt eine Liste der gekennzeichneten Kunststoffe vor (Formblatt Anlage 7 zum Vertrag) und legt Erklärungen der Lieferanten vor (bspw. der Lieferanten der Gehäuse, Leiterplatten, Kabel oder Stecker), dass die ausgeschlossenen Substanzen nicht enthalten sind (Formblatt Anlage 2 zum Vertrag).

3.4.2 Zusätzliche Anforderungen an die Kunststoffe der Gehäuse und Gehäuseteile

Halogenhaltige Polymere sind nicht zulässig. Weiterhin sind halogenorganische Verbindungen als Additive nicht zulässig und dürfen den Kunststoffteilen nicht zugesetzt werden.

Von dieser Regelung ausgenommen sind:

- Fluororganische Additive (wie zum Beispiel Anti-Dripping-Reagenzien), die zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe eingesetzt werden, sofern sie einem Gehalt von 0,5 Gewichts-Prozent nicht überschreiten.
- Fluorierte Kunststoffe wie z.B. PTFE.
- Kunststoffteile mit einer Masse unter 25 Gramm.

Die in Kunststoffteilen mit einer Masse größer oder gleich 25 Gramm eingesetzten Flammenschutzmittel sind zu nennen und durch die CAS-Nummer zu charakterisieren.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag. Bezüglich der Flammenschutzmittel veranlasst er eine schriftliche Erklärung der Kunststoffhersteller oder -lieferanten an die RAL gGmbH, dass die auszuschließenden Substanzen in Gehäusekunststoffen nicht zugesetzt sind (Formblatt Anlage 8 zum Vertrag). Zugleich verpflichtet er sich, die Hersteller oder Lieferanten der Gehäusekunststoffe zu veranlassen, die chemische Bezeichnung der eingesetzten Flammenschutzmittel (CAS-Nr.) vertraulich an die RAL gGmbH zu übermitteln (Formblatt Anlage 8 zum Vertrag).

3.4.3 Zusätzliche Anforderungen an die Kunststoffe der Leiterplatten

Dem Trägermaterial der Leiterplatten dürfen keine PBB (polybromierte Biphenyle), PBDE (polybromierte Diphenylether), TBBPA (Tetrabrombisphenol-A) oder Chlorparaffine zugesetzt sein.

Nachweis:

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in der Anlage 1 zum Vertrag und legt eine schriftliche Erklärungen der Leiterplattenhersteller oder -lieferanten an die RAL gGmbH vor, dass die ausgeschlossenen Substanzen nicht enthalten sind (Formblatt Anlage 2 zum Vertrag).

3.4.4 Anforderungen an die elektronischen Bauteile

In den elektronischen Bauteilen dürfen Blei, Quecksilber, Cadmium und sechswertiges Chrom nicht enthalten sein. Bleihaltige Lötmittel dürfen nicht eingesetzt werden.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt eine schriftliche Erklärung der Komponentenhersteller oder -lieferanten vor oder veranlasst die Vorlage

derselben gegenüber der RAL gGmbH. (Formblatt Anlage 9 zum Vertrag). Alternativ kann der Antragsteller ein RoHS-Zertifikat vorlegen.

3.5 Recycling und Entsorgung

3.5.1 Recyclingfähigkeit

- (1) PV-Wechselrichter müssen so konstruiert sein, dass sie für Recyclingzwecke leicht zerlegbar sind. Ziel ist es, die Fraktionen von Materialien (z.B. Kupfer, Aluminium, Stahl, Kunststoffe) zu trennen und werkstofflich wieder zu verwerten.
- (2) Die mit dem Umweltzeichen ausgezeichneten Solar-Wechselrichter müssen so gestaltet sein, dass im Fachbetrieb eine effiziente Zerlegung unterstützt wird und mit Universalwerkzeugen vorgenommen werden kann.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und legt eine Anleitung vor, in dem die fachgerechte Zerlegung des PV-Wechselrichters erklärt wird (Anlage 10). Die Anleitung kann entweder schriftlich, als Fotodokumentation, Zeichnung oder im Videoformat vorgelegt werden.

Außerdem verpflichtet sich der Antragsteller in Anlage 1 zum Vertrag, dass er Recyclingunternehmen auf Anforderung Unterlagen zur effektiven Zerlegung, den Baugruppen und den selektiv zu behandelnden Stoffen und Bauteilen zur Verfügung stellt.

3.5.2 Rücknahme

Der Hersteller gewährleistet eine kostenlose Rücknahme. Anschließend führt er das Gerät der Wiederverwendung, dem Recycling oder, wenn dies nicht möglich ist, der fachgerechten Entsorgung zu.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und belegt sie mit geeigneten Dokumenten als Anlage 11.

3.6 Sicherheit

- (1) Die Geräte erfüllen die Sicherheitsanforderungen nach DIN EN 62109 VDE 0126-14, „Sicherheit von Wechselrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen.“ Dies betrifft Mindestanforderungen für den Schutz gegen

elektrischen Schlag, elektrische Energie, Brand, mechanische und sonstige Gefahren.

- (2) Bei einem im Wechselrichter integrierten elektronischen Lasttrennschalter muss eine Unbedenklichkeitsbescheinigung der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (BGFE), der Deutschen Gesellschaft Unfallversicherung e.V. (DGUV) oder aber einer nach DIN EN 45011 durch eine Nationale Akkreditierungsstelle akkreditierten Zertifizierungsstelle vorliegen.
- (3) Die Produktunterlagen müssen Hinweise zur Einbindung des Wechselrichters in Erdungs- und Potenzialausgleichs-, sowie Blitzschutzsysteme enthalten.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und legt entsprechende Bescheinigungen (Anlage 12 zum Vertrag) oder z.B. das CE-Zertifikat, das die Anforderungen nachweist (Anlage 13 zum Vertrag) sowie die entsprechenden Produktunterlagen (vgl. Anlage 5 unter 3.3.1) vor.

3.7 Elektromagnetische Verträglichkeit

Die Geräte müssen konform sein mit DIN EN 61000-6-1; VDE 0839-6-1 (Elektromagnetische Verträglichkeit - Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe) und DIN EN 61000-6-3; VDE 0839-6-3 (Elektromagnetische Verträglichkeit Störaussendung für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe)

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und legt das CE-Zertifikat für das Gerät als Anlage 13 vor .

3.8 Geräuschemission

Die Geräte dürfen einen maximalen Schallleistungspegel von 55 dB(A) nicht überschreiten.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag und legt ein Messprotokoll eines nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüflabors als Anlage 14 sowie die entsprechenden Seiten der Produktunterlagen als Anlage 5 vor

(vgl. 3.3.1). Der Schallleistungspegel ist gemäß DIN EN 60704-1 bzw. DIN EN 60704-3 zu messen und anzugeben.

3.9 Verbraucherinformation

Auf dem Datenblatt und dem Typenschild, die dem Verbraucher zur Verfügung gestellt werden müssen, müssen die Mindestangaben nach DIN EN 50524 (VDE 0126-13) (Datenblatt- und Typenschildangaben von Photovoltaik-Wechselrichtern) enthalten sein. Die Angaben für das Datenblatt sind im Einzelnen in Anhang 1: Datenblattangaben für PV-Wechselrichter“ dargestellt.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag und legt das Datenblatt und das Typenschild als Anlage 15 vor .

4 Zeichennehmer und Beteiligte

4.1 Zeichennehmer sind Hersteller oder Vertreiber von Produkten gemäß Abschnitt 2.

4.2 Beteiligte am Vergabeverfahren:

- RAL gGmbH für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel,
- das Bundesland, in dem sich die Produktionsstätte des Antragstellers befindet,
- das Umweltbundesamt, das nach Vertragsschluss alle Daten und Unterlagen erhält, die zur Beantragung des Blauen Engel vorgelegt wurden, um die Weiterentwicklung der Vergabegrundlagen fortführen zu können.

5 Zeichenbenutzung

5.1 Die Benutzung des Umweltzeichens durch den Zeichennehmer erfolgt aufgrund eines mit der RAL gGmbH abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages.

5.2 Im Rahmen dieses Vertrages übernimmt der Zeichennehmer die Verpflichtung, die Anforderungen gemäß Abschnitt 3 für die Dauer der Benutzung des Umweltzeichens einzuhalten.

5.3 Für die Kennzeichnung von Produkten gemäß Abschnitt 2 werden Zeichenbenutzungsverträge abgeschlossen. Die Geltungsdauer dieser Verträge läuft bis zum 31.12.2014. Sie verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls der Vertrag nicht bis zum 31.03.2014 bzw. 31.03. des jeweiligen Verlängerungsjahres schriftlich gekündigt wird. Eine Weiterverwendung des Umweltzeichens ist nach Vertragsende weder zur Kennzeichnung noch in der Werbung zulässig. Noch im Handel befindliche Produkte bleiben von dieser Regelung unberührt.

- 5.4** Der Zeichennehmer (Hersteller) kann die Erweiterung des Benutzungsrechtes für das Kennzeichnungsberechtigte Produkt bei der RAL gGmbH beantragen, wenn es unter einem anderen Marken-/Handelsnamen und/oder anderen Vertriebsorganisationen in den Verkehr gebracht werden soll.
- 5.5** In dem Zeichenbenutzungsvertrag ist festzulegen:
 - 5.5.1** Zeichennehmer (Hersteller/Vertreiber)
 - 5.5.2** Marken-/Handelsname, Produktbezeichnung
 - 5.5.3** Inverkehrbringer (Zeichenanwender), d.h. die Vertriebsorganisation gemäß Abschnitt 4.

Anhang 1: Datenblattangaben für PV-Wechselrichter

Kenngröße	Formelzeichen	Einheit
Leistungsdaten:		
Nennleistung DC	$P_{n\ DC}$	W
maximale DC-Eingangsleistung	P_{DCmax}	W
Nennleistung AC	$P_{n\ AC}$	W
maximale AC-Leistung	P_{ACmax}	W
Teilwirkungsgrade	$\eta (U_v, x\%)$	%
Max-Wirkungsgrad	$\eta_{max\%}$	%
Euro-Wirkungsgrad	η_{Euro}	%
Leistungsfaktor	$\cos \varphi$	
DC-Einschaltleistung	P_{ein}	W
DC-Ausschaltleistung	P_{aus}	W
Stand-By-Leistung	$P_{StandBy}$	W
Nacht-Leistung	P_{nacht}	W
Spannungen:		
Nennspannung DC	$U_{n\ DC}$	V
MPP-Spannungsbereich	MPPT	V
maximale DC-Spannung	U_{DCmax}	V
Abschaltspannung	U_{DCab}	V
Spannungsbereich AC		V
Ströme:		
Nennstrom DC	$I_{n\ DC}$	A
maximaler DC-Strom	I_{DCmax}	A
Nennstrom AC	$I_{n\ AC}$	A
maximaler AC-Strom	I_{ACmax}	A
Klirrfaktor	k	%
Sonstiges:		
Maße (Höhe, Breite, Länge)		mm
Gesamtgewicht		kg
Geräuschpegel		dB(A)
Temperaturbereich (Minimum, Maximum)	T_{min}, T_{max}	°C
Wirkungsgradänderung bei T_{max}	$\Delta \eta_{Tmax}$	%
Wirkungsgradänderung bei Abweichung von der DC Nennspannung	$\Delta \eta_U$	%/100 V
MPP-Wirkungsgrad statisch (DIN EN 50530)	η_{MPP}	%
MPP-Wirkungsgrad dynamisch (DIN EN 50530)	η_{MPP}	%
Überlastverhalten	Beschreibung	
Art der Netzüberwachung	Beschreibung	
Montageanleitung	Beschreibung	
IP-Schutzgrad gemäß IEC 60529	Angabe	
Isolationsüberwachung	Angabe	
Anzahl der MPP-Tracker in Stück	Angabe	

VERTRAG

Nr.

über die Vergabe des Umweltzeichens

RAL gGmbH als Zeichengeber und die Firma

(Inverkehrbringer)

als Zeichennehmer – nachfolgend kurz ZN genannt –
schließen folgenden Zeichenbenutzungsvertrag:

M U S T E R

1. Der ZN erhält das Recht, unter folgenden Bedingungen das dem Vertrag zugrunde liegende Umweltzeichen zur Kennzeichnung des Produkts / der Produktgruppe / Aktion "**Photovoltaik Wechselrichter**" für

"(Marken-/Handelsname)"

zu benutzen. Dieses Recht erstreckt sich nicht darauf, das Umweltzeichen als Bestandteil einer Marke zu benutzen. Das Umweltzeichen darf nur in der abgebildeten Form und Farbe mit der unteren Umschrift "Jury Umweltzeichen" benutzt werden, soweit nichts anderes vereinbart wird. Die Abbildung der gesamten inneren Umschrift des Umweltzeichens muss immer in gleicher Größe, Buchstabenart und -dicke sowie -farbe erfolgen und leicht lesbar sein.

2. Das Umweltzeichen gemäß Abschnitt 1 darf nur für o. g. Produkt/Produktgruppe/Aktion benutzt werden.
3. Für die Benutzung des Umweltzeichens in der Werbung oder sonstigen Maßnahmen des ZN hat dieser sicherzustellen, dass das Umweltzeichen nur in Verbindung zu o.g. Produkt/Produktgruppe/Aktion gebracht wird, für die die Benutzung des Umweltzeichens mit diesem Vertrag geregelt wird. Für die Art der Benutzung des Zeichens, insbesondere im Rahmen der Werbung, ist der Zeichennehmer allein verantwortlich.
4. Das/die zu kennzeichnende Produkt/Produktgruppe/Aktion muss während der Dauer der Zeichenbenutzung allen in der "Vergabegrundlage für Umweltzeichen RAL-UZ 163" in der jeweils gültigen Fassung enthaltenen Anforderungen und Zeichenbenutzungsbedingungen entsprechen. Dies gilt auch für die Wiedergabe des Umweltzeichens (einschließlich Umschrift). Schadenersatzansprüche gegen die RAL gGmbH, insbesondere aufgrund von Beanstandungen der Zeichenbenutzung oder der sie begleitenden Werbung des ZN durch Dritte, sind ausgeschlossen.
5. Sind in der "Vergabegrundlage für Umweltzeichen" Kontrollen durch Dritte vorgesehen, so übernimmt der ZN die dafür entstehenden Kosten.
6. Wird vom ZN selbst oder durch Dritte festgestellt, dass der ZN die unter Abschnitt 2 bis 5 enthaltenen

Bedingungen nicht erfüllt, verpflichtet er sich, dies der RAL gGmbH anzuzeigen und das Umweltzeichen solange nicht zu benutzen, bis die Voraussetzungen wieder erfüllt sind. Gelingt es dem ZN nicht, den die Zeichenbenutzung voraussetzenden Zustand unverzüglich wiederherzustellen oder hat er in schwerwiegender Weise gegen diesen Vertrag verstoßen, so entzieht die RAL gGmbH gegebenenfalls dem ZN das Umweltzeichen und untersagt ihm die weitere Benutzung. Schadenersatzansprüche gegen die RAL gGmbH wegen der Entziehung des Umweltzeichens sind ausgeschlossen.

7. Der Zeichenbenutzungsvertrag kann aus wichtigen Gründen gekündigt werden.
Als solche gelten z. Beispiel:
 - nicht gezahlte Entgelte
 - nachgewiesene Gefahr für Leib und Leben.Eine weitere Benutzung des Umweltzeichens ist in diesem Fall verboten. Schadenersatzansprüche gegen die RAL gGmbH sind ausgeschlossen (vgl. Ziffer 6 Satz 3).
8. Der ZN verpflichtet sich, für die Nutzungsdauer des Umweltzeichens der RAL gGmbH ein Entgelt gemäß "Entgeltordnung für das Umweltzeichen" in ihrer jeweils gültigen Ausgabe zu entrichten.
9. Die Geltungsdauer dieses Vertrages läuft gemäß "Vergabegrundlage für Umweltzeichen RAL-UZ 163" bis zum 31.12.2014. Sie verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls der Vertrag nicht bis zum 31.03.2014 bzw. bis zum 31.03. des jeweiligen Verlängerungsjahres schriftlich gekündigt wird. Eine Benutzung des Umweltzeichens ist nach Vertragsende weder zur Kennzeichnung noch in der Werbung zulässig. Noch im Handel befindliche Produkte bleiben von dieser Regelung unberührt.
10. Mit dem Umweltzeichen gekennzeichnete Produkte/ Aktionen und die Werbung dafür dürfen nur bei Nennung der Firma des

(ZN/Inverkehrbringers)

an den Verbraucher gelangen.

Sankt Augustin, den

Ort, Datum

RAL gGmbH
Geschäftsleitung

(rechtsverbindliche Unterschrift
und Firmenstempel)