

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 299 95 315/03
UBA-FB 000274



Machbarkeitsstudie für neue Umweltzeichen für die Produktgruppen: Photovoltaische Produkte und Anlagen

von

Dipl.-Ing.-Oec. Bernd Hirschl

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH

unter Mitarbeit von

Mag. Björn Zapfel, Joachim Ochse, Dipl. Vw. Gerd Scholl

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH

**Dipl.-Ing. Werner Roth, Dipl.-Ing. Volker Hoffmann, Dipl.-Ing.
Hermann Laukamp**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

Vorauszahlung von 7,50 Euro

durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in dem Bericht geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.3
Elke Kreowski

Berlin, Dezember 2002

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer 000274	2.	3.
4. Titel des Berichts Machbarkeitsstudie für neue Umweltzeichen in Anlehnung an ISO 14024 (Type I) für die Produktgruppe: Photovoltaische Produkte und Anlagen - Endbericht		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Hirschl, Bernd, Dipl.-Ing. oec.		8. Abschlussdatum 02.11.2000 9. Veröffentlichungsdatum -
6. Durchführende Institution Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH Regionalbüro Baden Württemberg Bergstr. 7 69120 Heidelberg		10. UFOPLAN-Nr. 299 95 315 / 03 11. Seitenzahl: 77 12. Literaturangaben: 44
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt FG III 1.3 Seeckstraße 6-10 13581 Berlin		13. Tabellen und Diagramme 16 14. Abbildungen: 4
15. Zusätzliche Angaben ./		
16. Kurzfassung Beim vorliegenden Gutachten handelt es sich um eine Machbarkeitsstudie nach ISO 14024, in deren Rahmen untersucht wurde, ob und inwieweit das Instrument Umweltzeichen für photovoltaische Geräte (PV-Geräte) mit Speichermedien sowie PV-Anlagen geeignet ist und wie diesbezüglich konkrete Anforderungen aussehen könnten. Im Rahmen der Untersuchung wurden zunächst umfassende Marktanalysen durchgeführt, um daraus die Produkte und Anlagen(-Komponenten), die für ein Umweltzeichen in Frage kommen, identifizieren zu können. Im Hauptteil der Studie ging es um die vertiefende Analyse der Umweltrelevanz der ausgewählten Produkte und Anlagen(-Komponenten). Auf der Basis dieser Analyse wurden Anforderungskataloge abgeleitet, die in einem Fachgespräch in einer breiten Runde von Experten und Herstellern vorgestellt und diskutiert wurden. Aus der Studie und dem Fachgespräch konnte ein deutliches Votum für ein Umweltzeichen für die untersuchten PV-Produkte abgeleitet werden. Eine Besonderheit der vorgeschlagenen Anforderungen liegt in dem Nachweis der Funktionssicherheit der Geräte mittels rechnergestützter Simulationen. Als mögliche Umschrift eines Zeichens für photovoltaische Geräte mit Speichermedien wird empfohlen: „Umweltzeichen ... weil solarbetrieben und schadstoffarm“. Für PV-Module und Wechselrichter gilt eine derartige Empfehlung für Umweltzeichen nur eingeschränkt. Dies liegt z.B. daran, dass Anforderungen bezüglich des Wirkungsgrades der Module aufgrund „übergeordneter“ Faktoren wie z.B. dem Gesamtzusammenspiel der Anlage (und damit der Installation) oder aber den Produktionskosten der Module nicht aufrechterhalten werden könnten. Ein Umweltzeichen für PV-Module sollte sich primär auf die Aspekte Rücknahme, Recycling und geringere Leistungstoleranz beziehen. Für PV-Wechselrichter wurden die Schwerpunkte auf die Energieeffizienz und Recyclingfähigkeit gelegt; das Zeichen sollte jedoch nur gekoppelt mit der Einführung des Umweltschens für Module realisiert werden.		
17. Schlagwörter Machbarkeitsstudie Umweltzeichen, Blauer Engel, Photovoltaik, photovoltaische Geräte, photovoltaische Anlagen, Solar-Module, Solarwechselrichter		
18. Preis	19.	20.

Report cover sheet

1. Report No. 000274	2.	3.
4. Report Title Feasibility study for new eco-labels according to ISO 14024 (Type I) within the product group: photovoltaic products and plants		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Hirschl, Bernd, Dipl.-Ing. oec.		8. Report Date 02.11.2000 9. Publication Date -
6. Performing Organisation (Name, Address) Institute for ecological economy research Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH Regionalbüro Baden Württemberg Bergstr. 7 69120 Heidelberg		10. UFOPLAN - Ref.No. 299 95 315 / 03 11. No. of Pages: 77 12. No. of References: 44
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt FG III 1.3 Seeckstraße 6-10 13581 Berlin		13. No. of Tables and Diagrams: 16 14. No. of Figures 4
15. Supplementary Notes ./		
16. Abstract This expert opinion (feasibility study according to ISO 14024) examines the suitability and the possibilities of a realisation of an eco-label for photovoltaic products (PV-products) and PV-plants. Hence, it also deals with the question of how concrete criteria to develop an eco-label in this product fields could be specified. The study began with comprehensive market analyses in order to identify possible products and plant components for which an eco-label would make sense. In the main body of the study, the environmental relevance of the chosen products and plant components was analysed in a deeper way. On the basis of this analysis, it was possible to derive a number of criteria, which were presented and discussed in an expert talk joined by various company representatives and experts in this field. As a result of the expert talk and the whole investigation process an introduction of an eco-label for photovoltaic products with storage batteries can be recommended. A peculiarity of the set of requirements is the computer-related simulations in order to proof the functional reliability. The main focus beside this quality aspects is on the pollutants in the storage media, which is why the transcription of the label is proposed as "... because solar-powered and low-pollutant". The recommendation for an eco-label to the field of photovoltaic modules and inverters is valid only in a limited way. This has among other aspects to do with the fact that efficiency (factor) criteria for the modules do not deal with "superior" facts like the whole plant concept (installation) or the production costs. An eco-label for solar modules therefore should contain aspects like recycling and take back as well as a low tolerance rate. An eco-label for inverters can be recommended clearer, but it should not be introduced without the introduction of the one for modules. Main requirements are about their energy efficiency and recycling aspects.		
17. Keywords feasibility study eco-label, blue angel, photovoltaics, photovoltaic appliances, photovoltaic plants, solar module, solar inverter		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

TABELLENVERZEICHNIS.....	IV
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
1 EINLEITUNG	1
2 MARKTANALYSE UND PRODUKTAUSWAHL.....	2
2.1 PHOTOVOLTAISCHE GERÄTE	2
2.1.1 <i>Marktanalyse der PV-Produkte mit Speicher.....</i>	<i>4</i>
2.1.2 <i>Vorauswahl geeigneter Produkte</i>	<i>5</i>
2.2 PV-ANLAGEN	10
2.2.1 <i>Netzferne Anlagen</i>	<i>10</i>
2.2.2 <i>Netzgekoppelte Anlagen</i>	<i>12</i>
2.2.2.1 <i>Solarmodule</i>	<i>12</i>
2.2.2.2 <i>Wechselrichter</i>	<i>14</i>
2.3 FESTLEGUNG DER VORAUSWAHL IN ABSTIMMUNG MIT DEM UMWELTBUNDESAMT	15
3 UMWELTRELEVANZ AUSGEWÄHLTER PHOTOVOLTAISCHER PRODUKTE	17
3.1 AUSGEWÄHLTE PV-PRODUKTE MIT BATTERIE.....	17
3.1.1 <i>Schadstoffrelevanz der Speichermedien</i>	<i>18</i>
3.1.1.1 <i>Politisch-regulative Aspekte.....</i>	<i>19</i>
3.1.1.2 <i>Speichertypen und technisch-ökonomische Aspekte</i>	<i>19</i>
3.1.1.3 <i>Zur Lebensdauer der Akkumulatoren</i>	<i>22</i>
3.1.1.4 <i>Zwischenfazit</i>	<i>22</i>
3.1.2 <i>Schadstoffrelevanz sonstiger Produktteile.....</i>	<i>23</i>
3.1.2.1 <i>PV-Generatoren</i>	<i>23</i>
3.1.2.2 <i>Elektronik und sonstige Produktteile.....</i>	<i>25</i>
3.1.3 <i>Recyclinggerechte Konstruktion und Entsorgung</i>	<i>25</i>
3.1.4 <i>Gebrauchstauglichkeit und Produktqualität</i>	<i>26</i>
3.1.4.1 <i>Funktionssicherheit</i>	<i>26</i>
3.1.4.2 <i>Herstellergarantie.....</i>	<i>28</i>
3.1.4.3 <i>Richtlinienkonformität und Produktsicherheit.....</i>	<i>29</i>
3.1.5 <i>Produktspezifische Aspekte</i>	<i>29</i>
3.1.5.1 <i>Armbanduhren</i>	<i>29</i>
3.1.5.2 <i>Solarwecker</i>	<i>31</i>
3.1.5.3 <i>Hausnummernbeleuchtungen.....</i>	<i>31</i>
3.1.5.4 <i>Gartenleuchten</i>	<i>33</i>
3.1.5.5 <i>Solarweidezaungerät</i>	<i>34</i>

3.2 PV-ANLAGEN	35
3.2.1 <i>Exkurs: Zur Energiebilanz der Photovoltaik</i>	35
3.2.2 <i>PV-Module</i>	36
3.2.2.1 Schadstoffrelevanz	37
3.2.2.2 Rücknahme, Recycling und Entsorgung	39
3.2.2.3 Wirkungsgrad	39
3.2.2.4 Produktqualität und Lebensdauer	41
3.2.2.5 Richtlinienkonformität und Produktsicherheit	43
3.2.3 <i>Wechselrichter</i>	44
3.2.3.1 Schadstoffrelevanz und Recycling	45
3.2.3.2 Wirkungsgrade und Effizienz	46
3.2.3.3 Produktqualität und Lebensdauer	50
3.2.3.4 Richtlinienkonformität und Produktsicherheit	51
4 FACHGESPRÄCH - EXPERTENDISKURS ÜBER MÖGLICHE ANFORDERUNGEN ...	52
4.1 DISKUSSION ÜBER ANFORDERUNGEN AN PV-PRODUKTE MIT SPEICHER	52
4.1.1 <i>Gesamtproduktbezogene Aspekte</i>	52
4.1.2 <i>Speicherbezogene Aspekte</i>	53
4.1.3 <i>Materialanforderungen</i>	53
4.1.4 <i>Funktionssicherheit</i>	53
4.2 DISKUSSION ÜBER ANFORDERUNGEN AN PV-MODULE	54
4.2.1 <i>Geltungsbereich und Garantie</i>	54
4.2.2 <i>Rücknahme und Materialanforderungen</i>	55
4.2.3 <i>Leistungsindikatoren</i>	55
4.3 DISKUSSION ÜBER ANFORDERUNGEN AN PV-WECHSELRICHTER	56
4.3.1 <i>Langlebigkeit und Schadstoffrelevanz</i>	56
4.3.2 <i>Leistungsindikatoren</i>	56
5 FAZIT UND EMPFEHLUNGEN	57
6 LITERATUR	60
ANHÄNGE	64
ANHANG I: ENTWURF PRODUKTGRUPPENSPEZIFISCHER ANFORDERUNGSPROFILE	64
1 ANFORDERUNGEN AN PV-PRODUKTE MIT BATTERIE	65
1.1 EINFÜHRUNG	65
1.2 GELTUNGSBEREICH	65

1.3 ANFORDERUNGEN	65
1.3.1 <i>Allgemeines</i>	65
1.3.2 <i>Langlebigkeit der Geräte</i>	65
1.3.2.1 Auswechselbarkeit der Batterie	65
1.3.2.2 Herstellergarantie	66
1.3.3 <i>Anforderungen an Batterie und Elektronik</i>	66
1.3.3.1 Verbot cadmiumhaltiger Batterien	66
1.3.3.2 Schutz gegen Überladen oder Tiefentladen der Batterie	66
1.3.3.3 Entsorgungshinweise	66
1.3.4 <i>Sonstige Materialanforderungen</i>	67
1.3.5 <i>Funktionssicherheit</i>	67
1.3.5.1 Bedingungen für Indoor-Produkte	67
1.3.5.2 Bedingungen für Outdoor-Produkte	67
2 ANFORDERUNGEN AN PHOTOVOLTAIK-MODULE	69
2.1 EINFÜHRUNG	69
2.2 GELTUNGSBEREICH	69
2.3 ANFORDERUNGEN	69
2.3.1 <i>Allgemeines</i>	69
2.3.2 <i>Garantieleistung des Herstellers</i>	69
2.3.3 <i>Rücknahme der Module</i>	70
2.3.4 <i>Materialanforderungen an Kunststoffe</i>	70
2.3.5 <i>Modulwirkungsgrad</i>	70
2.3.6 <i>Qualität des Produkts</i>	70
2.3.6.1 Begrenzung der Leistungstoleranz	70
2.3.6.2 Informationen über den Temperaturkoeffizient	70
2.3.7 <i>Herstellerinformationen</i>	71
3 ANFORDERUNGEN AN PHOTOVOLTAIK-WECHSELRICHTER	72
3.1 EINFÜHRUNG	72
3.2 GELTUNGSBEREICH	72
3.3 ANFORDERUNGEN	72
3.3.1 <i>Allgemeines</i>	72
3.3.2 <i>Langlebigkeit</i>	72
3.3.2.1 Garantieleistung des Herstellers	72
3.3.2.2 Reparatursicherheit	73
3.3.2.3 Information über Langlebigkeit	73
3.3.3 <i>Rücknahme der Geräte</i>	73

3.3.4 Recyclinggerechte Konstruktion	73
3.3.5 Materialanforderungen an die Kunststoffe der Gehäuse und Gehäuseteile	73
3.3.6 Eurowirkungsgrad und Energieeffizienz des Geräts	74
3.3.7 Sicherheit	75
ANHANG II: EXKURS PV-GAP	76
ANHANG III: FACHGESPRÄCH	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wesentliche technische Komponenten von PV-Produkten mit und ohne Energie-Speicher	3
Tabelle 2: Liste recherchierter PV-Produkte (Produkttypen)	5
Tabelle 3: Marktrelevante PV-Produkte	6
Tabelle 4: Auswahlvorschlag für untersuchungsrelevante PV-Produkte	9
Tabelle 5: Wesentliche technische Komponenten von PV-Anlagen	10
Tabelle 6: Übersicht und Struktur Modul-relevanter Zelltypen	13
Tabelle 7: Kennwerte von Akkumulatoren (kleine Gerätebatterien) für PV-Geräte	20
Tabelle 8: Kenngrößen der Modulwirkungsgrade	41
Tabelle 9: Modulwirkungsgradverteilungen	41
Tabelle 10: Leistungstoleranzverteilungen	42
Tabelle 11: Werkstoffverteilung in Gewichtsprozent	45
Tabelle 12: Eurowirkungsgrad - Anforderung und Erfüllung je Leistungsklassen	47
Tabelle 13: Stand-by-Verbrauch - Anforderung und Erfüllung je Leistungsklassen	49
Tabelle 14: Nachtverbrauch	49
Tabelle 15: Einspeiseleistung	50
Tabelle 16: Anforderungen an Eurowirkungsgrad und Energieeffizienzgrößen	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Systematik photovoltaischer Produkte	27
Abbildung 2: Allgemeiner Modulaufbau	37
Abbildung 3: Modulwirkungsgrade (mono / poly)	40
Abbildung 4: Eurowirkungsgrad: Verteilung und Mindestanforderung	48

1 Einleitung

Bei dem hier vorliegenden Gutachten handelt es sich um eine Machbarkeitsstudie, in deren Rahmen untersucht wurde, ob und inwieweit ein Umweltzeichen für photovoltaische Produkte (PV-Produkte) und PV-Anlagen geeignet ist, und wie diesbezüglich konkrete Anforderungen aussehen können. Die Studie wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Umweltforschungsplanes (Förderungskennzeichen 299 95 315/03) erstellt und mit Bundesmitteln finanziert. Die Untersuchung wurde in Anlehnung an die ISO 14024 (Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures) durchgeführt.

Für den Bereich der photovoltaischen Produkte existiert bereits ein Umweltzeichen (RAL-UZ 47), welches für Substitute batteriebetriebener Produkte gilt. Im Rahmen des Gutachtens wurde geprüft, inwieweit die Entwicklung eines eigenen Umweltzeichens für solarbetriebene Produkte, die zusätzlich mit Speichermedien wie Akkumulatoren ausgestattet sind, sinnvoll ist. Darüber hinaus wurde für den Bereich stromerzeugender Solaranlagen untersucht, welche Anlagentypen bzw. Anlagenkomponenten aus Umweltschutzaspekten für ein Umweltzeichen sinnvoll erscheinen. Der Schwerpunkt der Umweltbewertung sollte dabei in allen Fällen auf die Schadstoffproblematik gerichtet werden.

Die Untersuchung begann mit einer umfassenden Marktanalyse, in der die relevanten Produktbereiche umfassend recherchiert wurden, um daraus die Produkte und Anlagen(-Komponenten), die für ein Umweltzeichen in Frage kommen, identifizieren zu können. Die Produktauswahl wurde letztlich anhand einheitlicher Kriterien getroffen, die im Laufe der weiteren Untersuchung weiter verfeinert wurden. Im Hauptteil der Studie ging es um die vertiefende Analyse der Umweltrelevanz der ausgewählten Produkte und Anlagen(-Komponenten). Auf der Basis dieser Analyse wurden erste Anforderungskataloge abgeleitet, die in einem Fachgespräch in einer breiten Runde von Experten und Herstellern vorgestellt und diskutiert wurden. Die Ergebnisse dieses Fachgesprächs sowie des gesamten Untersuchungsprozesses führten zu Empfehlungen und Entwürfen von Anforderungen für potentielle Umweltzeichen für photovoltaische Produkte und die hauptsächlichen Anlagenkomponenten.

2 Marktanalyse und Produktauswahl

Im ersten Schritt der Machbarkeitsstudie für ein Umweltzeichen für PV-Produkte und PV-Anlagen wurde eine umfassende Marktrecherche und -analyse durchgeführt. Die Marktanalyse soll einen aktuellen Überblick über das gesamte Untersuchungsgebiet liefern und zu einer geeigneten Systematisierung führen, die es ermöglicht, den Untersuchungsbereich auf relevante Produkte, Produktgruppen, Anlagen oder einzelne Komponenten, die im weiteren Verlauf im Hinblick auf ein Umweltzeichen eine Rolle spielen sollen, einzugrenzen.

Die Marktanalyse erfolgte zum einen anhand von zahlreichen leitfadengestützten Interviews mit Anbietern sowie bei Bedarf schriftlichen Befragungen, zum anderen durch Auswertung vorhandener Daten, die u.a. vom Fraunhofer ISE zur Verfügung gestellt werden konnten. Die Primärerhebung war notwendig, da keinerlei stetige Fortschreibung der in diesem Zusammenhang benötigten Daten durch die Verbände oder andere Interessengruppen erfolgt, die Innovationsdynamik und die daraus resultierende Vielfalt und Heterogenität der Produkte und Anlagen - unterstützt durch die jüngsten politischen Entscheidungen¹ - jedoch stetig wächst.

Im Zuge der Recherchen wurde auch mit den maßgeblichen Verbänden² und Initiativen³ Kontakt aufgenommen. Die Resonanz auf das Vorhaben war überwiegend aufgeschlossen bis positiv und es wurde seitens der Verbandsführungen jeweils Interesse an der Mitarbeit und am Dialog im weiteren Verlauf der Untersuchung signalisiert. Dies galt auch für die meisten der interviewten Hersteller.

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften werden die Produkte und die Anlagen nachfolgend getrennt betrachtet.

2.1 Photovoltaische Geräte

Mit dem Begriff „photovoltaische Geräte“ (nachfolgend auch: PV-Produkte) sind solche Geräte gemeint, die für ihre Nutzung Energie benötigen, welche ganz oder zu einem Teil durch Strom aus Solargeneratoren (Zellen bzw. Module) erzeugt wird. Der prinzipielle Aufbau von solchen PV-Produkten lässt sich in Anlehnung an Roth (1999) wie in Tabelle 1 systematisieren.

Die Solarzelle ist ein dünnes, flächiges elektronisches Bauteil aus Halbleiter-Schichten (Standard-Abmessungen: 10x10 oder 15x15 cm), welches aus dem Sonnenlicht bzw. durch die Absorption von Lichtenergie (Photonenstrahlung) eine elektrische Spannung erzeugt und über Kontakte an Vorder- und Rückseite einen Strom liefert. Solarzellen sind zur besseren Absorption mit einer Antireflexschicht beschichtet.

¹ In diesem Zusammenhang sind primär die Ökosteuer und das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG), aber auch Rahmenbedingungen wie die Strommarkliberalisierung zu nennen.

² Bundesverband Solarenergie (BSE) und Deutscher Fachverband Solarenergie (DFS).

³ Z.B. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS).

Tabelle 1: Wesentliche technische Komponenten von PV-Produkten mit und ohne Energie-Speicher

PV-Produkte ohne Energie-Speicher	PV-Produkte mit Energie-Speicher
Solargenerator (Zelle/Modul)	Solargenerator (Zelle/Modul)
Modul-Fassung	Modul-Fassung
	Laderegler
	Speichermedium
Spannungsaufbereitung	Spannungsaufbereitung
Verbraucher	Verbraucher

Das Solarmodul ist der Zusammenbau mehrerer Solarzellen zum Schutz vor Umwelteinflüssen, zur besseren Handhabbarkeit und um die i.d.R. benötigten höheren Spannungen zu erzielen. Ein Solarmodul besteht aus mehreren, in Reihe geschalteten Solarzellen, die nebeneinander i.d.R. zwischen Glas oder Kunststoffplatten eingebettet (laminiert) sind; es wird i.d.R. mit einem Rahmen versehen. Als Solargenerator bezeichnet man ein oder mehrere Solarmodule, die in Reihe oder parallel miteinander verschaltet sein können.⁴

Ein Laderegler überwacht und regelt den Lade- und Entladevorgang des Akkus, d.h. er übernimmt das Lademanagement und verhindert Schäden durch Überladung oder Tiefentladung. Er kann als elektronisches Bauteil integriert mit der Spannungsaufbereitung auf einer Platine untergebracht sein. Das Speichermedium ist eine Batterie (meist ein Akkumulator, d.h. eine Sekundärbatterie) oder ein Kondensator. Im Rahmen dieser Untersuchung werden die Batterien und hier im wesentlichen der Akku im Vordergrund stehen. Einige Produkte verwenden spezielle Kondensatoren als Pufferspeicher – hier ist zu prüfen, inwieweit derartige Produkte bereits unter das vorhandene Umweltzeichen fallen können.

Exkurs: Abgrenzung zum bestehenden Umweltzeichen RAL-UZ 47

Derzeit besteht bereits die Möglichkeit, PV-Produkte mit einem Umweltzeichen (RAL-UZ 47) auszuzeichnen. Der Geltungsbereich dieses Umweltzeichens bezieht sich auf die folgenden photovoltaisch betriebenen Produkte: Uhren, Messschieber, Spielzeuge, Tisch- und Taschenrechner, Solar-Baukästen, Solar-Schulungskästen, Experimentierkästen. Wesentliches Kennzeichen und erste Anforderung an diese Produkte ist, dass die Photovoltaik die alleinige Energieversorgungsquelle ist, d.h. Batterien, Akkumulatoren oder Netzteile sind nicht zulässig und auch baulich nicht vorzusehen.

Im Rahmen dieses Umweltzeichens ist der Einsatz von Kondensatoren nicht ausgeschlossen, allerdings gilt für eingebaute Kondensatoren die Anforderung, dass sie „keine organischen Ha-

⁴ Die Reihenschaltung führt zu einer Erhöhung (Addition) der Systemspannung, die Parallelschaltung zu einer Addition der Ausgangsstromes. Um Spannung und Strom zu erhöhen, lassen sich beide Schaltungen kombinieren. Die Leistung ist das Produkt aus Spannung und Strom und verändert sich dem gemäß je nach Schaltung. In Reihe geschaltete Module bezeichnet man auch als Strang oder „string“.

logenenverbindungen enthalten dürfen“ (RAL 2000, S.102). Kondensatoren werden i.d.R. eingesetzt, um eine Glättung von Spannungsverläufen zu erzielen. Sie können darüber hinaus auch explizit die Funktion eines Energie-Kurzzeitspeichers oder -Puffers übernehmen. In der nachfolgenden Marktanalyse werden Kondensatoren in Abhängigkeit von ihren spezifischen Einsatzbereichen bzw. Funktionen nur am Rande betrachtet und bewertet.

Die Spannungsaufbereitung ist meist ein DC/DC-Wandler, der die erzeugte Gleichspannung in eine andere (die des Verbrauchers) transformiert. In diesem Zusammenhang sind sog. Energiemanagement-Systeme zu erwähnen, eine (programmierbare) Elektronik, welche die Energieverteilung, -Speicherung und den Verbrauch je nach Anwendungsfall koordiniert. Der Verbraucher beschreibt die energieverbrauchende Funktion des jeweiligen Produkts und kann ein Motor, eine Pumpe, Beleuchtung, Kompressor, Steuerung, Funkanlage, Anzeige, etc. oder Kombinationen daraus sein.

Für die nachfolgende Untersuchung liegt der Schwerpunkt gemäß der Aufgabenstellung auf den PV-Produkten mit Speichern (rechte Spalte der Tabelle 1).

2.1.1 Marktanalyse der PV-Produkte mit Speicher

Die Marktanalyse im Bereich der Produkte erfolgte anhand von zahlreichen leitfadengestützten Interviews mit Herstellern, Händlern und Verbänden sowie durch vorhandene Daten, die u.a. vom Kooperationspartner Fraunhofer ISE zur Verfügung gestellt wurden, wodurch ein umfangreiches Bild des heterogenen und schnelllebigen PV-Produkt-Marktes entstand. Dabei kann kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden, da - wie einige Experten des Feldes bestätigen konnten - von mittlerweile mehreren Tausend Anbietern im Bereich PV sowie ebenfalls mehreren Tausend Produkten bzw. Produkt-Varianten auszugehen ist.⁵

Bei der Erhebung wurden ganz allgemein „Anbieter“ von PV-Produkten recherchiert und befragt, d.h. sowohl Hersteller als auch Händler, wobei die Grenzen hier teilweise fließend sind.⁶ Vertiefende und detaillierte Angaben zu den Produkten konnten jedoch i.d.R. nur von den Herstellern gemacht werden. Befragt wurden die Anbieter nach Verkaufszahlen einzelner Produkte in Deutschland, Verkaufstrends, Bestandszahlen, der Anzahl der Anbieter je Produkt, den Kunden, dem Vertriebsweg und nach Einzelheiten zu den verwendeten Komponenten.

Die nachfolgend in der Tabelle 2 aufgeführten Produkte zeigen die bedeutendsten recherchierten PV-Produkte sowie hervorgehobene Neuheiten der befragten Anbieter dar. Zur Vereinfachung und zur Vermeidung von Doppelungen wurden Oberbegriffe zur Bezeichnung von Produkttypen gewählt, die nicht immer mit den Produktbezeichnungen der einzelnen Anbieter übereinstimmen.

⁵ Einen Eindruck von der Vielfalt des Angebots geben z.B. die umfangreichen Listen der größeren Versandanbieter (z.B. Conrad, Heizmann, Alfasolar). Die hohe Schätzung der Anzahl an PV-Produkten ist allerdings z.T. auf die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten einzelner Komponenten zurückzuführen.

⁶ Die Verflechtungen des PV-Marktes sind teilweise sehr komplex. Insbesondere bei den PV-Produkten finden sich die verschiedensten Kooperationen unterschiedlicher Firmen in den Bereichen der Konzept- bzw. Patententwicklung, Komponenten- oder Produktentwicklung, Produktion, Vermarktung und Vertrieb.

In Abstimmung mit den Experten des Fraunhofer ISE wurde davon abgesehen, aufbauend auf den vorliegenden Produkten bzw. ihren Funktionen und Eigenschaften eine vereinheitlichende Systematik zu entwerfen. Eine derartige Systematik, die z.B. auf der Basis von vergleichbaren Funktionen oder Verbraucherarten (Motor, Beleuchtung, etc.) theoretisch denkbar wäre, ist für den weiteren Verlauf der Untersuchung nicht zielführend. Es wurde übereinstimmend festgestellt, dass die Entwicklung allgemeiner Kriterien nicht auf der Basis einer vorab postulierten Systematik entstehen kann, sondern erst nach der ausgiebigen Analyse einzelner Produkte – und dass erst daraus u.U. eine sinnvolle Systematik entwickelt werden kann. Die Erfordernis einer genaueren Untersuchung einzelner Produkte resultiert auch daraus, dass die Produkte in der Regel sehr unterschiedliche Funktionen bzw. Dienstleistungen erfüllen, woraus eine sehr differenzierte und unterschiedliche Bewertung in Bezug auf z. B. Qualitätsanforderungen oder die Funktionssicherheit erfolgen kann.

In Analogie zum bestehenden Umweltzeichen, welches ebenfalls explizite Anforderungen für konkrete Produkttypen formuliert, wird für das weitere Vorgehen der Fokus auf die Identifikation der für ein Umweltzeichen besonders relevanten Produkte bzw. Produkttypen gerichtet.

Tabelle 2: Liste recherchierter PV-Produkte (Produkttypen)

1. Akkuladegerät	17. Kamera	33. Spielzeug
2. Armbanduhren	18. Küchenwaage	34. Springbrunnen
3. Autobahnüberwachung	19. Ladegerät	35. Taschenlampe
4. Auto-Solardach	20. Lüftersysteme f. Reisebusse	36. Thermometer
5. Baukasten	21. Maulwurfschreck	37. Tischuhren
6. Baustellenleuchte	22. Milchaufschäumer - bzw. Miniquirl	38. Tragbare Solarenergystation
7. Baustellenwaage	23. Multimeter	39. Ventilator
8. Bootsysteme	24. Notrufsäule	40. Verkehrszähleinrichtung
9. Briefwaage	25. Paketwaage	41. Vitrinenbeleuchtg./Fahrplanbel.
10. Elektronikbaukasten	26. Parkscheinautomat	42. Warthallenbeleuchtung
11. Folienrollo	27. Präzisions- bzw. Laborwaage	43. Wecker
12. Garagentorantrieb	28. Radio	44. Wege-/Parkplatzleuchte
13. Gartenleuchten	29. Radio-Leuchte	45. Weidezaun
14. Handleuchte	30. Rasenmäher	46. Wettermesstechnik
15. Haushaltswaage	31. Rollläden	47. Zigarettensautomat
16. Hausnummernbeleuchtung	32. Schweißermaske	

2.1.2 Vorauswahl geeigneter Produkte

Auf der Basis einiger grundlegender Kriterien, die für die Vergabe eines Umweltzeichens gegeben bzw. erfüllt sein sollten, wird nachfolgend zunächst eine Eingrenzung des Untersuchungsbereiches, d.h. der identifizierten Produkte vorgenommen. Die Kriterien beziehen sich im ersten Schritt auf die Marktrelevanz der einzelnen Produkte:

- **Verkaufszahlen:** Bedeutung des Produkts gemessen an den Verkaufszahlen
- **Trend:** stabile bis positive Verkaufsentwicklung
- **Anbieterzahl:** Konkurrenzsituation, d.h. mehrere Anbieter vorhanden

Dabei beschreiben diese Anforderungen Aspekte, die idealerweise erfüllt sein sollten. Hierfür sind folgende Begründungen anzuführen: Mit dem Kriterium der Verkaufszahlen soll sicher-

gestellt werden, dass es sich um ein serienreifes Marktprodukt und nicht um eine Pilot- oder „Kurzzeit“-Serie (Trendprodukt) handelt. Ausnahmen von dieser Bedingung erhalten Produkte, die als besonders zukunftssträftig erscheinen. Die Beachtung des Verkaufstrends erfasst derartige Tendenzen und ergänzt die erste Anforderung. Mit dem dritten Argument der Anbieterzahl sollen produktspezifische Angebots-Monopole ausgeschlossen bzw. die Möglichkeit des Wettbewerbs sichergestellt werden. Im Zuge dieses Aspekts wird auch darauf geachtet, ob mindestens ein Hersteller aus Deutschland dabei ist, um die Wahrscheinlichkeit einer Zeichennahme zu erhöhen.

Nach der Auswertung der Interviews und der vorhandenen Daten können einige PV-Produkte in Bezug auf die oben genannten Kriterien favorisiert werden. Die in der Tabelle 3 genannten Zahlen beschreiben dabei Größenordnungen von Verkaufszahlen, die nach den Einschätzungen der Hersteller ermittelt wurden, sie basieren nicht auf einer genauen, statistischen Erfassung. Die Kunden der aufgeführten Produkte sind primär die privaten Haushalte, wodurch im Falle eines Umweltzeichens die wesentliche Verbraucher-Zielgruppe angesprochen würde.⁷ Eine Ausnahme bildet die Briefwaage, die häufiger an (klein-) gewerbliche Kunden verkauft wird.

Tabelle 3: Marktrelevante PV-Produkte

Produktkategorien	Verkaufszahlen 1999 in Deutschland [Stück]
1. Gartenleuchten	200.000
2. Armbanduhren	100.000 - 200.000
3. Solarwecker	100.000
4. Briefwaagen	100.000
5. Taschenlampen	50.000
6. Hausnummernbeleuchtung	40.000
7. Spielzeug	mehrere 10.000
8. Ladegeräte	mehrere 10.000
9. Personenwaagen	mehrere 10.000
10. Küchenwaagen	mehrere 10.000
11. Milchaufschäumer	mehrere 10.000

Betrachtet man in einem zweiten Schritt als zusätzliche Kriterien die (eingeschätzte) Umweltrelevanz der obigen Auswahl, so kann eine weitere Eingrenzung vorgenommen werden. Im einzelnen stehen dabei die folgenden Fragen im Vordergrund:

⁷ Das Umweltzeichen „wirkt“ auch auf andere, wie z.B. gewerbliche oder öffentliche Zielgruppen, weshalb die Art der Kunden kein Ausschlusskriterium darstellen sollte. Das Umweltbundesamt selbst schreibt dazu (in RAL 2000): „Das Umweltzeichen soll eine Einkaufshilfe für den Verbraucher sein.“; ohne, dass der Verbraucher hier näher spezifiziert wird. „Schließlich kann der Umweltengel auch eine Vertriebshilfe für den Handel sein.“

- **Substitutionspotential:** Ersetzt das PV-Produkt eine vermutlich umweltschädliche, „konventionelle“ Variante - die z.B. mit Batterien oder Netzstrom funktioniert oder einen hohen Infrastrukturbedarf hat ?
- **Technisches Veränderungspotential:** Sind die betrachteten PV-Produkte überhaupt technisch verbesserungsfähig, d.h. können sie z.B. mit Akkus, die nach den derzeitigen Anforderungen ein Umweltzeichen erhalten würden (RAM-Akkus, bzw. Ausschluss von Blei- bzw. Cadmium-haltigen Akkus⁸), betrieben werden ?

In Bezug auf das Substitutionspotential ist für die in der Tabelle aufgeführten Produkte festzustellen, dass es einen sehr großen Markt an „konventionellen“ Produkten neben den PV-Varianten gibt.⁹ Die genauere Betrachtung der obigen Kriterien führt zu den nachfolgenden Überlegungen.

Für den Bereich der **Gartenleuchten** sind die derzeit höchsten Verkaufszahlen ermittelt worden.¹⁰ Das Spektrum der PV-Gartenleuchten ist jedoch sehr breit; es handelt sich um sehr unterschiedliche Produkttypen mit verschiedenen Eigenschaften. Die Funktionen sind in Bezug auf Faktoren wie Beleuchtungsdauer und -stärke schwer bestimmbar und verallgemeinerbar, dies bezieht sich auch auf einen Mangel an geeigneten (kostengünstigen) physikalisch-technischen Messmethoden. Auch ist der Anwendungsbereich und die Eigenschaft von Gartenleuchten als „Dekoration“ – häufig die wichtigste Funktion - als weniger geeignet für ein Umweltzeichen einzustufen. Für die Formulierung von Anforderungen für den Bereich Gartenleuchten - bzw. von „Outdoor-Beleuchtungssystemen“ allgemein - erscheint es wichtig bzw. vorteilhaft, eine Festlegung von Funktionen zu treffen. Zwei wesentliche Faktoren von derartigen Beleuchtungssystemen sind die Beleuchtungsdauer und Beleuchtungsstärke. Allerdings ist die Bandbreite funktionaler Unterschiede bereits allein auf der Basis dieser beiden Parameter sehr groß. Beispielhaft seien hier Beleuchtungssysteme genannt, welche entweder die ganze Nacht mit definierter Beleuchtungsstärke (vgl. Hausnummernbeleuchtungen), Bewegungsmelder-abhängig oder für eine definierte Zeitspanne leuchten sollen.

PV-Armbanduhren, die ohne Akkumulator betrieben werden, können bereits mit dem bestehenden Umweltzeichen RAL-UZ 47 ausgezeichnet werden. Dies betrifft auch die Uhren, die mit einem Kondensator ausgestattet sind. Hier kommen i.d.R. sog. Doppelschichtkondensatoren zum Einsatz, die eine explizite Puffer-Speicherfunktion erfüllen können. Der Einsatz dieser Kondensatoren im Bereich der Armbanduhren ist jedoch als Übergangskonzept einzustufen, da mittlerweile die technische Weiterentwicklung den Einsatz von Akkus, die weniger umweltschädlich und langlebiger sind, und insofern einen sichereren Betrieb ermöglicht. Angesichts der Tatsache, dass mittlerweile auch Uhren mit speziellen Primärzellen ein Umweltzeichen erhalten können (RAL-UZ 16 u. 50), wird in Ergänzung zur obigen Argumen-

⁸ Hier stellt sich die grundsätzliche Frage, ob PV-Produkte und -Systeme, die mit Blei-haltigen oder Nickel-Cadmium-Akkus ausgestattet sind, unter gewissen Auflagen ein Umweltzeichen erhalten sollten oder nicht - auf diese Problematik wird im weiteren Verlauf noch explizit eingegangen.

⁹ Konkrete Zahlen liegen hier nicht vor (sie können in Einzelfällen vom Statistischen Bundesamt bezogen werden), dennoch kann die obige Vermutung aus der Alltagserfahrung heraus bestätigt werden.

¹⁰ Die hohen Verkaufszahlen werden dadurch erklärt, dass Gartenleuchten in vielen Bauhäusern erhältlich sind und über zahlreiche Versandkataloge bezogen werden können.

tation vorgeschlagen, den Bereich der Armbanduhren für die weitere Untersuchung auszuwählen.

Die obige Argumentation gilt in analoger Weise prinzipiell auch für **Solarwecker**, weshalb auch dieses Produkt für die weitere Untersuchung vorgeschlagen wurde.

PV-Briefwaagen werden in Größenordnungen bis zu 100.000 Stück verkauft. Die Anforderungen an die Funktionsfähigkeit dieser Waagen ist mit der von Taschenrechnern zu vergleichen: Sie werden aufgrund ihrer Anzeige-Funktion bei Licht (Tages- oder Kunstlicht) benutzt, und die benötigte Elektronik verlangt i.d.R. nur eine geringe elektrische Leistung und Speicherfähigkeit, so dass die Mehrzahl der PV-Modelle mit Kondensatoren (i.d.R. mit den bereits erwähnten Doppelschichtkondensatoren) ausgestattet sind. Die interviewten Hersteller sehen in diesem Aufbau - ohne Akku - ein wesentliches zukünftiges Geschäft. Daher wird empfohlen, die Briefwaagen in den Geltungsbereich des bestehenden Umweltzeichens RAL-UZ 47 einzubeziehen und sie infolgedessen im Rahmen dieser Untersuchung auszuschließen.

Taschenlampen weisen als „Beleuchtungssysteme“ eine eher unbestimmte Beleuchtungsdauer und -stärke auf. In Bezug auf die Vergleichbarkeit mit konventionellen Produkten kommt das Problem der Verfügbarkeit bzw. Funktionssicherheit hinzu: Teilweise müssen die Taschenlampen für einen Aufladezyklus mehrere Tage im Hellen liegen, um ihre Funktion erfüllen zu können, was nicht immer kompatibel mit den Gebrauchsanforderungen der Nutzer ist. Darüber hinaus ist die Wahl des Akkus i.d.R. dem Benutzer überlassen, da nur wenige Modelle festinstallierte Akkus aufweisen (was aus Umweltsicht zu begrüßen ist). Angesichts der angesprochenen Aspekte werden Taschenlampen als eher ungeeignet für ein Umweltzeichen eingestuft.

Die photovoltaisch betriebenen **Hausnummernbeleuchtungen** weisen als Beleuchtungssysteme vergleichsweise definierbare Funktionen auf: Sie sollen die gesamte Nacht hindurch in einer zu definierenden Beleuchtungsstärke die Hausnummer anzeigen. Problematisch bleibt hierbei die Definition einer „angemessenen Beleuchtungsstärke“ bzw. die Sichtbarkeit der Nummer. Hausnummernbeleuchtungen benötigen aufgrund ihres Anforderungsprofils ausdauernde, robuste Speichermedien; Eigenschaften, die derzeit in der kostengünstigsten Variante nur von Blei-Akkus erfüllt werden.

Exkurs: Der Einsatz von Blei-Akkus

Um über einen längeren Zeitraum (z.B. über Nacht) eine ausreichende Leistung zur Verfügung zu stellen, werden heutzutage im Bereich photovoltaischer Produkte als Speicher i.d.R. die vergleichsweise kostengünstigen Blei-Akkus verschiedenster Art eingesetzt. Bei bestimmten Anwendungen kommen unter Umständen auch Nickel-Cadmium-Akkus zum Einsatz. Die derzeit vorhandenen alternativen Akkus (z.B. Nickel-Metallhydrid, RAM, Lithium-Ionen), die weniger umweltbelastende Eigenschaften aufweisen, sind für den Einsatz bei größeren Leistungen technisch nicht immer geeignet und ökonomisch noch nicht konkurrenzfähig (vgl. Jossen et al. 1999). Diesbezüglich ist eine Entscheidung zu treffen, ob ein genereller Ausschluss von Blei- und NiCd-Akkus oder aber ihre Zulässigkeit unter Erfüllung festzulegender Auflagen für die Anwendung in PV-Produkten zu fordern ist. Ein prinzipieller Ausschluss leitete sich aus der bisherigen Intention der thematisch verwandten, bestehenden Umweltzeichen für Solarprodukte, Batterien und Akkus ab; die Zulässigkeit ließe sich z.B. durch die In-

tention der Förderung von Solartechnik und der Auflage von Rücknahme und Recycling in Anlehnung an die geltende Batterieverordnung (BattVO) erklären.

Im Bereich **PV-Spielzeug** wurde festgestellt, dass nur wenige Produkte mit Akkus angeboten werden. Für die meisten Produkte besteht insofern mit dem bestehenden Umweltzeichen bereits die Möglichkeit, ausgezeichnet zu werden. Eine zunehmende Markt-Bedeutung oder die Notwendigkeit für den Einsatz von Akkus ist hier nicht zu erkennen.¹¹ Daher wird von einer weiteren Betrachtung von PV-Spielzeug mit Akkumulatoren abgesehen.

Bei den **Ladegeräten** gibt es verschiedene Anwendungsbereiche und Funktionen und insofern eine große Produktvielfalt. Hier ist zwischen Akkuladern für einzelne, spezielle oder mehrere, verschiedene Akku-Typen sowie Ladegeräten für spezielle technische Geräte, wie z.B. Handies, zu unterscheiden. Bei einigen Neuentwicklungen liegen die Ladefunktionen für (spezielle) Akkus und (spezielle) Geräte gekoppelt vor. Bei den Akkuladern, die mehrere Akkutypen laden können, hängt die Wahl der Akkus - wie bei der Taschenlampe - vom Benutzer ab. Ebenfalls vergleichbar ist das Problem der Verfügbarkeit aufgrund einer u.U. vergleichsweise langen Ladedauer. Der Einsatz von PV-Ladegeräten kann darüber hinaus aufgrund des PV-spezifischen Ladeverhaltens kritisch für die Lebensdauer der Akkus sein, was insbesondere bei Geräten gilt, die verschiedene Typen laden können. Aufgrund der dargestellten Produktvielfalt, Komplexität sowie der Tatsache, dass in diesem Bereich einige technisch-qualitative Entwicklungen noch bevorstehen, wird im Rahmen dieser Studie von einer weiteren Untersuchung von Ladegeräten abgesehen.

Für **Haushalts- und Personenwaagen** gilt eine analoge Beurteilung wie bei den Briefwaagen. Auch sie fallen aufgrund ihres technischen Aufbaus mit Kondensatoren und der Bedeutung dieser PV-Varianten unter das bestehende Umweltzeichen (RAL-UZ 47), weswegen sie von einer weiteren Betrachtung im Rahmen dieser Studie ausgenommen werden.¹²

Der **Milchaufschäumer** ist eher als ein klassisches Trend-Produkt anzusehen, welches derzeit nur von einem Anbieter hergestellt wird und nur mit einer batteriebetriebenen Variante, primär jedoch mit rein mechanischen Produkten konkurriert. Daher ist die Substitutionseignung und insofern die generelle Eignung für ein

Tabelle 4: Auswahlvorschlag für untersuchungsrelevante PV-Produkte

Produktkategorien	Empfehlung
1. Gartenleuchten	–
2. Armbanduhren	+
3. Solarwecker	+
4. Briefwaagen	UZ 47
5. Taschenlampen	–
6. Hausnummernbeleuchtung	+
7. Spielzeug	UZ 47
8. Ladegeräte	–
9. Personenwaagen	UZ 47
10. Küchenwaagen	UZ 47
11. Milchaufschäumer	–

¹¹ Eine wesentliche Funktion von PV-Spielzeug ist beispielsweise oft die Demonstration des lichtabhängigen Funktionierens der Solartechnik, was gegen den Einsatz eines Akkus spricht. Zur Kurzzeitspeicherung werden auch hier, wie auch bei den Uhren, oft Doppelschichtkondensatoren eingesetzt.

¹² Im Zusammenhang mit dem bestehenden Umweltzeichen RAL-UZ 47 sei darauf hingewiesen, dass im Zuge der Recherche ein Hersteller auf eine neuentwickelte Waage hingewiesen hat, die einen elektromechanischen Generator besitzt, der die Energie für den Wiegeprozess und die Anzeige lediglich durch das zu wiegende Gewicht bezieht. Für diese Technik wird vorgeschlagen, wie im Fall der mechanischen Uhren eine Einbeziehung in den Geltungsbereich des RAL-UZ 47 zu prüfen.

Umweltzeichen hier grundsätzlich in Frage zu stellen.

Aus den obigen Überlegungen ergibt sich der Vorschlag zur Auswahl der im Rahmen dieser Studie detaillierter zu untersuchenden PV-Produkte wie in Tabelle 4 dargestellt. Einige der Produkte können bereits ein Umweltzeichen erhalten, wenn auf den Einsatz einer Batterie verzichtet wird. In Bezug auf die Untersuchung von Hausnummernbeleuchtungen ist festzuhalten, dass dadurch exemplarisch die gesamte Problematik von Beleuchtungssystemen im Außenbereich in den Blick gerät. Mit der Auseinandersetzung grundsätzlicher Funktionen und Anforderungen sind dann u.U. auch Verallgemeinerungen in Bezug auf andere Beleuchtungssysteme möglich.

Aufgrund der aufgezeigten Komplexität und Spezifität der einzelnen PV-Produkte ist eine Beschränkung auf eine kleinere Auswahl von Produkten empfehlenswert, um die Umweltrelevanz (inkl. Technik, Funktionssicherheit etc.) sorgfältig analysieren zu können.

2.2 PV-Anlagen

Bei den PV-Anlagen werden im allgemeinen die Kategorien der netzgekoppelten (auch netzparallelen) und der netzfernen Anlagen unterschieden. Die beiden Systeme bestehen jeweils aus den folgenden Haupt-Komponenten:

Tabelle 5: Wesentliche technische Komponenten von PV-Anlagen

Netzgekoppelt	Netzfern
Solargenerator (Module)	Solargenerator (Module)
Aufständerung, Kleinteile	Aufständerung, Kleinteile
	Laderegler/Energiemanagement
	Batterie
Wechselrichter	Wechselrichter

Wie bei den Produkten erfolgt bei den netzfernen Anlagen das Be- und Entladen des Speichers i.d.R. durch einen Laderegler. Ein Laderegler kann mit einem sog. Batterie- oder Energiemanagementsystem unterstützt werden. Letzteres überwacht alle relevanten Komponenten einer netzfernen Anlage.

Der Wechselrichter ist ein elektronisches Gerät, das die vom Solargenerator erzeugte Gleichspannung in eine für das öffentliche Netz und die meisten technischen Geräte übliche Wechselspannung (230 V, 50 Hz) umwandelt.

Nachfolgend werden die netzfernen und die netzgekoppelten Anlagen getrennt nacheinander behandelt.

2.2.1 Netzferne Anlagen

Bei den netzfernen Anlagen sind kleinere, die sog. „Solar Home Systems“, von den größeren, auch Insel-Anlagen genannt, zu unterscheiden. Eine Sonderrolle spielen hier die sog. Kleinsysteme, die abschließend betrachtet werden.

Solar Home Systems werden zwar in Deutschland zahlreich produziert - und viele der neuen, großen Anbieter sehen darin ein Kerngeschäft der Zukunft - allerdings handelt es sich bei diesen Systemen i.d.R. um Exportprodukte für Länder ohne ausgeprägte Strom- bzw. Netzversorgung (sog. 3.Welt-Staaten); in Deutschland werden diese Systeme praktisch nicht abgesetzt.

Bei größeren **Insel-Anlagen**, deren Leistung i.d.R. über 1 kW_p liegt, handelt es sich derzeit vorwiegend um einzelne, teils geförderte Demonstrationsvorhaben, bei denen das gesamte System und die Komponenten sowie das Energiemanagement auf den konkreten Anwendungsfall zugeschnitten werden. In Deutschland gibt es gegenwärtig schätzungsweise ca. 50 größere Insel-Anlagen (Stand: Ende 1999), die z.B. häufig bei Wandergaststätten oder Alpen-Gebäuden eingesetzt werden.

In der nachfolgenden Untersuchung werden aus den oben genannten Gründen die beschriebenen netzfernen Anlagen - Solar Home Systems und größere Inselanlagen - als Gesamtsysteme keine Rolle spielen.

Die sog. **PV-Kleinsysteme** kommen z.B. in den Bereichen Camping, Boot, oder in der „Grauzone“ der Kleingärten¹³ zur Anwendung. Sie sind aufgrund ihres Aufbaus in Bezug auf die System-Hauptkomponenten oftmals eher in Analogie zu PV-Produkten zu sehen. Wie bereits anhand der aufgeführten Anwendungsbereiche deutlich wird, gibt es eine große Vielfalt bei der Ausgestaltung von Kleinsystemen. Durch die zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten je nach Art der Anwendung entstehen zum Teil sehr individuelle Lösungen. Einige Produkthersteller bieten jedoch auch fest am Produkt installierte PV-Systeme. Darüber hinaus gibt es tragbare Kleinsysteme (auch: Energieversorgungsstationen).

Die angesprochenen fest installierten Kleinsysteme sind i.d.R. an verhältnismäßig großen Produkten wie Campingwagen oder Booten angebracht. Hier erscheint aufgrund der „Größenverhältnisse“, d.h. der Relation des PV-Systems zum Gesamtprodukt, ein Labelling unangebracht. Aufgrund der freien Wahlmöglichkeit der Komponenten bei individuellen Kleinsystemen wird empfohlen, sie nachfolgend unter den Anlagen zu subsumieren und gemäß der dort zu entwickelnden Anforderungen für die Anlagenkomponenten zu behandeln. Wenn bei der Nutzung von Kleinsystemen Speichermedien zum Einsatz kommen, so ist auch hier darauf hinzuweisen, dass dies i.d.R. Blei-Akkus sind, da diese in den benötigten Leistungsgrößen derzeit die vorwiegend am Markt verfügbaren Akkutypen für derartige Anwendungen sind. Wie bei den Produkten wären hier bei der Entwicklung von Anforderungen die technischen und ökonomischen Gegebenheiten zu berücksichtigen bzw. eine Grundsatzentscheidung über den Umgang mit bestimmten Akkutypen anzustreben.

¹³ Die Nutzung von photovoltaischen Systemen zur Energieversorgung ist im Bereich von Kleingartenanlagen bisher nach derzeitiger Interpretation des Bundeskleingartengesetzes grundsätzlich untersagt. Zugelassen sind Solaranlagen jedoch in Vereinsheimen und Ferienhäusern. Außerdem betrifft das Gesetz nur festinstallierte, nicht jedoch mobile Anlagen. Darüber hinaus haben sich einige Kommunen für eine freiere Auslegung des Kleingartengesetzes entschieden und fördern den Bau von Solaranlagen sogar explizit. Die Stadt Frankfurt a.M. fördert beispielsweise Anlagen, die jedoch nur eine Generatorleistung bis 120 Wp aufweisen dürfen. Der Bereich Kleingarten ist für die Förderung der Solartechnik ein sehr wichtiger Bereich, da hier die Experimentierfreude und Vorbildfunktion in diesem sozialen Umfeld zu einer Erhöhung der Akzeptanz und Verbreitung führen kann (vgl. hierzu Henze/Hillebrand 1999 und Vogtmann et al. 1999).

2.2.2 Netzgekoppelte Anlagen

Bei den netzgekoppelten Anlagen stehen die Komponenten „Module“ und „Wechselrichter“ sowie die sog. Komplettanlagen im Vordergrund. Dabei sollten sich die Anforderungen für die Komplettanlagen aus den Einzelkriterien für die Komponenten ergeben, wodurch nachfolgend der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Module und der Wechselrichter gelegt wird. Das Labelling von Komplettanlagen selbst über einen längeren Zeitraum wird beispielsweise aufgrund der Herstellervielfalt der Einzelteile und des häufigen Komponentenwechsels derartiger Angebote als ungeeignet angesehen.

2.2.2.1 Solarmodule

Bei den Modulen sind unterschiedliche Materialien und Herstellungsverfahren zu unterscheiden, die zu verschiedenen Qualitäten, Wirkungsgraden, Einsatzbereichen und letztlich Kosten führen. Als bedeutendstes Material für die Herstellung von Solarzellen ist nach wie vor Silizium zu nennen. Daneben werden künftig voraussichtlich aber auch andere Halbleitermaterialien eine Rolle spielen, die im Labor derzeit bereits gute Ergebnisse erzielen. Ihre potentielle Marktbedeutung leitet sich von der Hoffnung ab, aufgrund einfacherer Herstellungsverfahren in Zukunft Kosten reduzieren zu können. Im wesentlichen stellt sich die Auswahl der Materialien und die damit verbundenen Technologien wie in der nachfolgenden Tabelle dar.

Die derzeitige Marktsituation im Bereich der Module zeigt, daß die kristallinen Zellen auf der Basis von Silizium nach wie vor die dominierende Rolle spielen:

Im Jahr 1999 wurden nach Angaben der Verbände ungefähr 14 MW_p photovoltaische Leistung installiert (vgl. DFS 2000). Davon fallen rund 12 MW_p auf netzgekoppelte Anlagen, ca. 2 MW_p fallen auf Insel-Anlagen bzw. Kleinsysteme und Produkte. Insgesamt waren damit bis Ende 1999 ca. 64 MW_p an gesamter Solarleistung in Deutschland installiert.

Die installierten Anlagen sind zum überwiegenden Teil aus mono- oder polykristallinen Siliziummodulen – nur ein sehr geringer Anteil entfällt auf amorphe Silizium-Module (nach Auskunft der Verbände wird der Anteil auf ca. 0,5 MW_p geschätzt). Auf dem deutschen Modul-Markt befindet sich eine zunehmende Anzahl an Anbietern aus dem In- und Ausland. In Deutschland werden derzeit von mehreren Unternehmen große Produktionskapazitäten aufgebaut (teilweise im zweistelligen MW-Bereich) – einige sind bereits errichtet und sollen bei steigender Nachfrage in Betrieb genommen werden.¹⁴

Entsprechend der obigen Analyse bezüglich der Marktrelevanz und Marktreife kommen für ein Umweltzeichen auf jeden Fall die mono- und polykristallinen Module in Frage.

Exkurs: Amorphe Module

Der Einsatzbereich von amorphen Solarzellen beschränkt sich derzeit hauptsächlich auf die Bereiche „Kleingeräte“ und „Fassaden“ und macht, wie oben angegeben, nur einen sehr ge-

¹⁴ Eine Übersicht über die Anbieter und Module bietet die Zeitschrift Photon (1999a, 2000a), über die Produktion in Deutschland die Zeitschrift Solarthemen (1999, 2000).

ringen Umfang der gesamten installierten Leistung aus. Im Bereich der amorphen Module für netzgekoppelte Anwendungen handelt es sich nahezu ausschließlich um Fassadenmodule. Der Stromertrag von Fassadenmodulen wird dabei im Vergleich zu Dach-Modulen durch den ungünstigeren Einstrahlungswinkel - zusätzlich zum geringeren Wirkungsgrad der amorphen Zellen – gemindert.¹⁵ Dünnschichtzellen bzw. -module können zukünftig aufgrund des geringeren Materialverbrauchs und effizienterer Produktionsverfahren günstiger hergestellt werden - derzeit schlagen diese Effizienzvorteile jedoch noch nicht zu Buche.¹⁶

Tabelle 6: Übersicht und Struktur Modul-relevanter Zelltypen

Zelltyp		Material / Struktur		Anmerkungen
Kristalline Zelltypen (Dickschichtzellen)	Siliziumzellen (c-Si)	monokristallin	ein einziger Kristall mit regelmäßigem Kristallgitter	Heutzutage erreichen die am Markt erhältlichen Module aus beiden Zelltypen vergleichbare Wirkungsgrade (9-14%)
		multi- bzw. polykristallin	Viele, unterschiedlich orientierte Kristalle	
	Andere Halbleitermaterialien	Überwiegend Gallium-Arsenid (GaAs)		Bedeutung vorwiegend in der Raumfahrt, nicht im terrestrischen Bereich ¹⁷
Dünnschichtzellen	Amorphe Siliziumzellen (a-Si)	Wasserstoffhaltiges amorphes Silizium wird auf Glas- oder Kunststoffsubstrate gedampft		Markt-Module weisen einen geringeren Wirkungsgrad (5-8%) im Vgl. zu kristallinen auf
	Kristallines Silizium	Versuch, die Schichtdicke von kristallinen Siliziumzellen zu minimieren		Derzeit Laborstadium
	Andere Halbleitermaterialien	Kupfer-Indium-Diselenid („CIS“)		Wirkungsgrade über 10%, Module bereits am Markt erhältlich; in Deutschland weitere Produktion im Aufbau. ¹⁸
		Cadmium-Tellurid (CdTe):		Noch keine Modul-Serienproduktion; Laborwirkungsgrade bis 15%, Pilotanlagen und Produktionsmaßstab über 10%; Produktion in Deutschland geplant. ¹⁹

Quelle: eigene Darstellung

Angesichts der oben genannten Argumente zeigt sich, dass amorphe Silizium-Module unter den derzeitigen Bedingungen nicht im Rahmen eines Vergleichs mit mono- oder polykristallinen Modulen bestehen können und insofern für das hier zu untersuchende Umweltzeichen keine Rolle spielen sollten. Allerdings wird angeregt, den Bereich der Fassadenmodule im Rahmen eines zukünftigen Vorhabens im Vergleich mit anderen Fassaden zu

¹⁵ Das amorphe Module trotzdem gerade im Fassadenbereich zum Einsatz kommen, ist hauptsächlich auf ihr besonderes äußeres Erscheinungsbild zurückzuführen.

¹⁶ Hier ist insbesondere auf das Problem der Erzeugung homogener, größerer Flächen von gleichmäßiger Qualität bei der Herstellung von amorphen Dünnschichtzellen hinzuweisen.

¹⁷ Als ein Hersteller und Anwender im Raumfahrtbereich in Deutschland ist die Fa. Dornier Satellitensysteme zu nennen.

¹⁸ Bereits am Markt erhältliche Module von Siemens-Solar; weitere Produktion in Deutschland im Aufbau (Fa. Würth-Solar).

¹⁹ Geplante Modulproduktion in Deutschland von der Fa. ANTEC.

bewerten - da die PV-Fassade ebenfalls klassische „Fassaden-Eigenschaften“ erfüllen und sich darüber hinaus ökologisch und ökonomisch amortisieren kann - was ein einzigartiger Vorteil gegenüber anderen Fassaden ist.

Die in Tabelle 6 abgebildeten neueren Dünnschichtzellen stehen derzeit noch nicht in serienreifen Ausführungen am Markt zur Verfügung, so dass auch sie im Rahmen dieser Studie keine Rolle spielen werden. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass insbesondere CIS-Module in naher Zukunft (2-3 Jahre) auf dem Markt eine Rolle spielen könnten. Im Fall der CdTe-Module, deren Marktauftritt ebenfalls geplant ist, ist neben den vielversprechenden Wirkungsgraden auf die Cadmium-Problematik hinzuweisen, die ebenfalls frühzeitig in einem Vorhaben in den Fokus genommen werden sollte.

Abschließend ist für den Bereich der Module noch einmal festzuhalten, dass mit der Auswahl der mono- und polykristallinen Module über 95% aller Module erfasst sind. Eine weitere Eingrenzung auf der Basis von verschiedenen Leistungsbereichen der Module erscheint nicht notwendig und wird im Rahmen des zweiten Untersuchungsschrittes geprüft werden.

2.2.2.2 Wechselrichter

Auch bei den Wechselrichtern sind die beiden grundlegenden Anwendungsbereiche netzfern und netzgekoppelt zu unterscheiden. Durch die Fokussierung auf den Regelfall der netzgekoppelten Anwendung stehen hier dementsprechend die sog. „Netzparallel-Wechselrichter“ im Vordergrund. Die grundlegende Eigenschaft dieser Wechselrichter ist es, sich auf die Frequenz und die Spannung des Netzstromes (230 V, 50 Hz) einzustellen und den erzeugten Solarstrom netzsynchron einzuspeisen.

Ein entscheidender Parameter eines Wechselrichters ist sein Umwandlungswirkungsgrad. Dabei ist insbesondere das Teillastverhalten von Bedeutung (mittlerer Wirkungsgrad), da der Wechselrichter in der meisten Zeit aufgrund der solaren Schwankungen nur einen Teil seiner maximalen Eingangsleistung zur Verfügung gestellt bekommt. Aufgrund dieser spezifischen Anforderung der photovoltaischen Anwendung handelt es sich nachfolgend primär um spezielle PV-Wechselrichter, die zahlreich am Markt verfügbar sind.

Bei Wechselrichtern für netzgekoppelte Solarstromanlagen sind die folgenden Konzepte zu unterscheiden:

- Modulwechselrichter: Jedes Modul hat einen eigenen (dezentralen) Wechselrichter, der direkt am Modul montiert werden kann. Damit sinkt der Installationsaufwand und die Verschaltung vereinfacht sich. Modulwechselrichter sind vorwiegend im Fassadenbereich anzutreffen.
- Strangwechselrichter: Wechselrichter wird nach einigen in Reihe geschalteten Modulen (Strang) montiert. Durch die höhere Eingangsspannung kann ein höherer Wirkungsgrad des Wechselrichters erzielt werden.
- Zentraler Wechselrichter: Umwandlung des gesamten Generatorertrags in einem entsprechend leistungsstarken Wechselrichter. Hier ist zusätzlich ein sog. Generatoranschlusskasten notwendig.

- Wechselrichter für Insel- und Netzparallelbetrieb: Seit einigen Jahren erhältlich; bei Stromausfall des öffentlichen Netzes trennt der Wechselrichter die Hausversorgung und betreibt diese als Insel-Anlage weiter. (Daher ist dieses System mit einem Akku gekoppelt.)

Die dargestellten Wechselrichter-Typen bieten verschiedene Vor- und Nachteile, deren Ausprägungen vom Anwendungsfall abhängen. Beispielhaft seien neben den oben genannten Vorteilen des Modulwechselrichters die Nachteile der thermischen Beanspruchung aufgrund der Lage, die Austausch- und Überwachungsproblematik und bei kleineren Einheiten eine Abnahme des Wirkungsgrades (vgl. hierzu Schmidt 1999) zu nennen. Beim Stringwechselrichter ergibt sich ein Nachteil aus der Schaltung dadurch, dass z.B. bei bereits geringer Verschattung die Stromstärke und damit die Leistung sinkt. Derartige Aspekte gilt es beim Vergleich der verschiedenen Typen zu berücksichtigen und abzuwägen. Dennoch bleiben eine Fülle genereller und typenübergreifender Anforderungen an die Geräte, welche die Formulierung eines Kriterien-Katalogs für netzgekoppelte Wechselrichter aus gegenwärtiger Sicht sinnvoll erscheinen lassen.

Die Marktsituation bei den Wechselrichtern wird derzeit durch ein starkes Gefälle geprägt: Ca. 70% der eingesetzten Wechselrichter sind Geräte der Fa. SMA, 25% der Fa. Fronius, nur 5% werden von weiteren Anbietern verkauft. Allerdings hat sich mit dem erwarteten Aufschwung der Photovoltaik auch die Entwicklung der Wechselrichter verbessert (derzeit sind etwa 100 verschiedene Modelle auf dem Markt), weitere Kostendegressionen sind erzielbar, und es ist zu erwarten, dass der Wettbewerb auch in diesem Bereich zunimmt.²⁰

Nach derzeitigem Kenntnisstand werden im Bereich der Wechselrichter die Strangwechselrichter die zentrale Rolle spielen. Für die weitere Untersuchung sind verschiedene Leistungsklassen zu berücksichtigen, für die aller Voraussicht nach spezifische Anforderungen zu formulieren sind. Hierbei sollten Wechselrichter für zu große Anlagen (>20 kW_p) ausgenommen werden, da es sich dabei i.d.R. nicht mehr um Serienprodukte handelt. Die Einteilung in geeignete Leistungsklassen steht noch aus, und wird in Kontext des zweiten Untersuchungsschrittes der Studie entwickelt.

2.3 Festlegung der Vorauswahl in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt

Der hier dargestellte Sachstand wurde am 14.2.2000 dem Auftraggeber bei einem Treffen im Umweltbundesamt in Berlin präsentiert. Die Diskussion erbrachte eine Klärung der im Text angesprochenen offenen Fragen, welche die Untersuchung einzelner Produktgruppen und das weitere Vorgehen betrafen.

Gemäss der grundlegenden Intention des UBA, die Photovoltaik möglichst breit zu fördern, wird die Auswahl der Produkte noch einmal dahingehend überprüft, ob nicht noch weitere als die bislang ausgewählten Produkte für ein Umweltzeichen in Frage kommen könnten. Konkret vereinbart wurde eine Nachrecherche für den Produkttyp "Weidezaun".

²⁰ Eine Übersicht über die Anbieter von Wechselrichtern in Deutschland bietet die Zeitschrift Photon (1999b, 2000b).

In Bezug auf die Problematik von Blei- und NiCd-Akkus, die bei größeren PV-Systemen heutzutage fast ausnahmslos eingesetzt werden, wird festgehalten, dass der Einsatz von NiCd-Akkus prinzipiell auszuschließen und der Einsatz von Blei-Batterien auf technische und ökonomische Alternativen zu prüfen ist; im Falle der Einsatz-Erfordernis von Blei-Akkus ist zu prüfen, inwieweit sinnvolle Kriterien entwickelt werden können, um eine sichere Handhabung, Rückführung und ein Recycling zu gewährleisten.²¹

Der Bereich der Gartenleuchten soll nicht prinzipiell ausgeschlossen werden. Hier sind in Bezug auf die Speicher die obigen Vereinbarungen zu beachten, wobei seitens der Bearbeiter auf das Problem hingewiesen wurde, dass es sich bei den Akkus in den Gartenleuchten um kleinere, oftmals festinstallierte Akkus handelt, bei denen eine Rücknahme schwer zu organisieren sein wird. Darüber hinaus ist eine Mindest-Produktqualität und eine möglichst präzise Angabe der Funktionssicherheit zu fordern, damit das „Image“ der Photovoltaik nicht leidet.²²

Für den Bereich der Anlagen wurde die vorgeschlagene Vorgehensweise bestätigt.

²¹ Hier spielen u.a. die Erfahrungen aus der Batterie-Rücknahmeverordnung bzw. der gegenwärtigen Praxis eine Rolle.

²² Die Tatsache, dass viele der Gartenleuchten bislang von eher minderer Qualität sind und darüber hinaus viele „Werbe“-Erwartungen nicht erfüllt werden, spricht dafür, in diesem Bereich gewisse Standards zu erreichen und insofern ein Umweltzeichen einzuführen. Allerdings ist dabei zu beachten, dass die oftmals geringe Beleuchtungsstärke und –dauer von Gartenleuchten zu Enttäuschungen der Konsumenten, und insofern in Verbindung mit dem Umweltzeichen zu Irritationen oder einem Image-Verlust der Photovoltaik führen kann.

3 Umweltrelevanz ausgewählter photovoltaischer Produkte

Der zweite Teilschritt, die Analyse der Umweltrelevanz der auf Basis der Marktanalyse ausgewählten photovoltaischen Produkte mit Speichermedien, PV-Module und PV-Wechselrichter, beinhaltet das Kernstück des Vorhabens.

Neben der allgemeinen Betrachtung der Umweltrelevanz eines Produktes ist der Vergleich mit anderen Produkten mit dem selben Gebrauchszweck zu beachten. Im Bereich der Photovoltaik allgemein und insbesondere im Bereich der netzgekoppelten PV-Anlagen betrifft dies zum einen die generelle Frage nach der Energiebilanz, welche kurz in Abschnitt 3.2.1 aufgegriffen wird. Im Fall der PV-Produkte mit Speichermedien betrifft es den Vergleich mit Produkten mit anderen Energieversorgungskonzepten (z.B. Versorgung durch Netzstrom, Primärbatterien, Solargeneratoren ohne Speicher, mechanische Funktionsweise etc.).

Zur Bearbeitung dieses Arbeitsschrittes wurden zahlreiche vorhandene Studien und Daten ausgewertet sowie eine umfangreiche schriftliche Befragung bei den relevanten Herstellern durchgeführt, die durch vertiefende Interviews mit einigen Herstellern und Experten ergänzt wurde (telefonisch, sowie Messebesuche, z.B. „Intersolar 2000“ in Freiburg).

3.1 Ausgewählte PV-Produkte mit Batterie

Aus dem ersten Projektschritt, der Marktanalyse, wurden die folgenden Solar-Produkte mit Speichermedien für die weitere Untersuchung ausgewählt:

- Solar-Armbanduhren
- Solarwecker
- Solar-Gartenleuchten
- Solar-Hausnummernbeleuchtungen
- Solar-Weidezaungeräte

In der Befragung wurde einhellig von allen Herstellern dieser Produkte die Einführung eines Umweltzeichens begrüßt.²³ Als Gründe dafür wurde das Ansehen des „Blauen Engels“ und die Abgrenzung zu Billigprodukten, aber auch konkrete Anforderungsideen in Bezug auf ein NiCd-Verbot oder die Gewährleistung von Funktionssicherheit genannt.

Im Verlauf der Untersuchung der genannten Solar-Produkte mit Speichermedien ergaben sich zwei zentrale Untersuchungsschwerpunkte:

- Einerseits ist die **Schadstoffrelevanz**, die insbesondere durch die **Speichermedien**, darüber hinaus aber auch bei den **sonstigen Produktkomponenten** (Solarmodul, Elektronik, Gehäuse) gegeben ist, zu untersuchen und vergleichend zu bewerten.

²³ Die Frage lautete: Glauben Sie, dass ein Umweltzeichen („Blauer Engel“), welches im wesentlichen für eine hohe technische und ökologische Qualität von PV-Konsumprodukten vergeben würde, einen Wettbewerbsvorteil darstellen könnte?

- Andererseits ist bei Solarprodukten eine **Mindestqualität** und **Funktionssicherheit** sicherzustellen, d.h. sie sollten zuverlässig die von Ihnen erwarteten Funktionen erfüllen. Dies ist aufgrund der Besonderheit der solaren bzw. strahlungsabhängigen Energieversorgung ein zentraler Aspekt. Über die Funktionssicherheit werden viele weitere, wichtige Aspekte integriert berücksichtigt, wie z.B. die technische Abstimmung von Anwendungsbedingungen und Energiesystem, die Lebensdauer insgesamt, aber auch die Akzeptanz und Wettbewerbsfähigkeit derartiger Produkte.

Letztlich ist auch beim zweiten Schwerpunktaspekt wieder die Schadstoffrelevanz gegeben, da die Produkte in der Regel auf dem Hausmüll landen, und somit bei vorzeitigem Lebensende aufgrund von Qualitäts- oder Funktionalitätsmängeln eine hohe Umweltrelevanz entsteht. Ausgehend von den beiden hier angeführten zentralen Schwerpunkten werden weitere Aspekte wie Materialverbrauch und stoffliche Emissionen bzw. Entsorgungsfragen je nach Relevanz integriert betrachtet. Die Frage von Wirkungsgraden und Effizienz der betrachteten Produkte wird unter dem Aspekt der Funktionssicherheit behandelt, da dies ein primäres Ziel der betrachteten Solarprodukte darstellen soll. Die Funktionssicherheit ist eng mit dem Aspekt der technischen Effizienz des Energiesystems verbunden, und zwar nicht zuletzt aus ökonomischen Gründen, da die Speicher und Solarzellen in der Regel die teuersten Komponenten sind.

Schließlich wird nachfolgend unterschieden zwischen allgemeinen Aspekten, die in grundsätzliche Probleme bzw. Entscheidungen münden, die für alle Solar-Produkte mit Batterien gelten, und produktspezifischen Aspekten, die zusätzlich zu Aussagen bzw. Anforderungen führen, die nur die jeweilige Produktgruppe betreffen.

3.1.1 Schadstoffrelevanz der Speichermedien

Die hier betrachteten photovoltaischen Produkte benötigen Energiespeichersysteme, um auch unabhängig vom Solarstrahlungs- bzw. Lichtangebot zuverlässig ihre Funktionen erfüllen zu können. Als Energiespeicher kommen i.d.R. wiederaufladbare elektrochemische Systeme, d.h. Akkumulatoren (Sekundärbatterien) oder wiederaufladbare Primärzellen, oder aber Kondensatoren (physikalisches System) zum Einsatz. Nachfolgend verwenden wir für alle elektrochemischen Systeme den allgemeinen Oberbegriff „Batterien“.

Nahezu alle Batterien enthalten umweltgefährliche Stoffe. Die Bedeutung der Umweltgefährdung ist jedoch sehr unterschiedlich. In die Untersuchung über die Eignung von PV-Produkten mit Akkumulatoren fließt insofern zum einen die grundlegende Frage der Umweltgefährdung im Vergleich zu alternativen Produkten, zum anderen die Frage nach technisch-ökonomischen Alternativen unter Berücksichtigung der aktuellen politisch-regulativen Entwicklungen mit ein. In Bezug auf die erste Frage kann konstatiert werden, dass seit dem in Kraft treten der Batterieverordnung zwar ein Anstieg beim Umsatz für Akkus verzeichnet werden konnte, allerdings sind immer noch 81 % aller verkauften Geräte-Batterien die abfallintensiveren Primärzellen bzw. Einwegbatterien. Nur ca. 30 % der Batterien gelangen derzeit über ein Sammelsystem zur Verwertung zurück zu den Herstellern (Angaben nach ARGE BAT und GRS aus UBA 1999b).

3.1.1.1 Politisch-regulative Aspekte

Die im Oktober 1998 in Kraft getretene Batterieverordnung enthält im wesentlichen die Rücknahmepflicht von Batterien (besonderes Augenmerk gilt dabei schadstoffhaltigen Batterien auf der Basis von Quecksilber, Cadmium und Blei) durch Hersteller und Vertreiber und demgegenüber die Rückgabepflicht der Verbraucher sowie darüber hinaus ein überwiegendes Verbot von quecksilberhaltigen Batterien. Aus den Pflichten resultiert weiterhin das Verbot „...Geräte in den Verkehr zu bringen, die nicht so gestaltet sind, dass nach Ende der Lebensdauer der Batterie eine mühelose Entnahme der Batterie durch den Verbraucher gewährleistet ist“, wobei sich dies beschränkend auf die als schadstoffhaltig deklarierten Batterien bezieht (§ 13 Abs. 1 S. 2 BattV). Ausnahmen von diesem Verbot können u.a. für tragbare Geräte geltend gemacht werden, „...wenn das Ersetzen der schadstoffhaltigen Batterien durch nicht qualifiziertes Personal eine Gefahr für den Benutzer darstellen oder den Einsatz der Geräte beeinträchtigen könnte“ (aus Anhang 2 BattV). Wenn jedoch eine derartige Ausnahmeindikation nach Anhang 2 der Batterieverordnung bei einem Gerät erfüllt sein sollte, dann „...gelten die Vorschriften dieser Verordnung ... sinngemäß für das ganze Gerät“ (aus: § 14 BattV).

Da die Untersuchung von PV-Produkten im allgemeinen und insbesondere der hier ausgewählten Geräte insgesamt ergeben hat, dass die Batterie i.d.R. die lebensdauerbegrenzende technische Komponente ist, ist in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Batterieverordnung die **Auswechselbarkeit der Batterien durch den Kunden** zu fordern - allerdings nicht nur für die in der BattV als schadstoffhaltig deklarierten Batterien, sondern prinzipiell für alle Batterietypen.

Da die hier untersuchten Produkte i.d.R. auf dem Hausmüll landen, und Batterien den größten Anteil an der Schwermetallbelastung des Hausmülls aufweisen (vgl. UBA 1999a), gilt ein besonderes Augenmerk dieser Untersuchung der Minimierung dieses Schwermetalleintrags unter Beachtung der aus technisch-ökonomischer Sicht realisierbaren Alternativen. Besonders bedeutsam für den Umweltschutz sind die Schwermetalle Quecksilber, Cadmium und Blei. Gelangen diese Schwermetalle in den Hausmüll, dann können sie über Deponien oder Müllverbrennungsanlagen unkontrolliert in die Umwelt gelangen und sich in Pflanzen, Tieren und schließlich im menschlichen Organismus anreichern und zu schweren gesundheitlichen Schäden führen (vgl. UBA 1999a).

Die bestehende Batterieverordnung enthält bereits ein Verbot von quecksilberhaltigen Batterien. In der gegenwärtigen Diskussion um die kommende EG-Richtlinie ist nach dem Ausschluss von Quecksilber nun auch der Ausschluss von Cadmium bis zu einem minimalen, prozessbedingten Anteil von 0,0005 Gewichtsprozent ab dem Jahr 2008 geplant. Diese Entwicklung sollte bereits im Vorfeld durch Förderung der Verbreitung der entsprechenden Batterie-Alternativen unterstützt werden, sofern dies aus technisch-ökonomischer Sicht realisierbar erscheint, was nachfolgend zu prüfen ist.

3.1.1.2 Speichertypen und technisch-ökonomische Aspekte

Die Anzahl bzw. die Verschiedenartigkeit der Speichersystemtypen, die in photovoltaischen Geräten und Kleinsystemen Anwendung finden, ist in der Praxis nicht sehr hoch. Primär werden nach Einschätzungen von Experten im Bereich der PV-Geräte und Kleinsysteme

hauptsächlich Blei- und Nickel-Cadmium-Akkumulatoren eingesetzt (vgl. Roth/Steinhüser 1999). Die Tabelle 7 zeigt eine Übersicht über diese und weitere verbreitete bzw. zukunfts-trächtige Akkumulatortypen mit ihren wesentlichen Kennwerten.

Tabelle 7: Kennwerte von Akkumulatoren (kleine Gerätebatterien) für PV-Geräte

	Blei	NiCd	NiMH	RAM	Li-Ionen	LiMe
Nennspannung [V]	2.0	1.2	1.2	1.5	3.6	3.0
Temperaturbereich [°C]	0 .. 45	-20 ... 60	0 ... 40	-20 ... 60	-20 ... 60	-30 ... 75
Selbstentladung ²⁴ [%/d]	0.1	1	1.5	0.01	0.2	0.1
Spez. Energie [Wh/kg]	30	50	65	90	100	140
Energiedichte [Wh/l]	100	130	180	260	250	300
Lebensdauer [100% Zyklentiefe (DOD)]	500	1000	1000	25 500 bei 20% DOD	1000	300 1500 bei 20% DOD
Kosten [ca. DM/Wh]	1	2	3	2	7	6

Quelle: Jossen et al. 1999

Aus der Tabelle geht hervor, dass der **Blei-Akku** der deutlich günstigste Akkutyp ist. Er findet hauptsächlich Anwendung im Outdoor-Bereich und kann für Anwendungen im mittleren und höheren Leistungsbereich aus technisch-ökonomischer Sicht derzeit in vielen Anwendungen als konkurrenzlos bezeichnet werden. Die Vorteile von Bleiakkus in typischen photovoltaischen Akkus sind beispielsweise ein guter Ladewirkungsgrad, eine geringe Selbstentladung, ein geringer Spannungsbereich und eine allgemein gute „Systemintegrierbarkeit“ (vgl. auch: Roth/Steinhüser 1999, Henze/Hillebrand 1999). Aufgrund dieser Praxis ist ein prinzipieller Ausschluss von Bleibatterien als derzeit nicht praktikabel anzusehen, hier ist eher gemäß Batterieverordnung auf die unbedingte Rückführung zu achten oder aber eine Pfandregelung in Analogie zu den (durchaus verwandten) Starterbatterien zu erwägen.²⁵

Die Bewertung für die zweite wichtige Batterie, den **Nickel-Cadmium-Akku**, fällt dagegen anders aus: Angesichts der technisch und mittlerweile zunehmend auch ökonomisch vergleichbaren Alternative des **Nickel-Metallhydrid-Akkus** kann auf den Einsatz von NiCd-Akkus in den hier untersuchten PV-Anwendungen verzichtet werden. Aus ökologischer Sicht wird damit auf den aus Umweltschutzgesichtspunkten gefährlicheren Schadstoff verzichtet, da die Cd-Akkus den größten Anteil an den Cd-Stoffströmen verursachen - 85 % des im Hausmüll vorhandenen Cd stammten Anfang der 80er Jahre laut UBA (1999a) von den Ak-

²⁴ Bei allen Batterien tritt Selbstentladung auf, d.h. sie entladen sich von allein, ohne Einfluss eines Verbrauchers. Durch die Selbstentladung verringert sich die für den Verbraucher verfügbare Energie und insofern die Einsatzdauer. Die Selbstentladung variiert zusätzlich je nach Hersteller und ist darüber hinaus stark temperatur- und einsatzabhängig. Nach einer Untersuchung der Stiftung Warentest weisen NiCd-Akkus - anders als in obiger Tabelle dargestellt - eine deutlich höhere Selbstentladung als NiMH-Akkus auf.

²⁵ Eine Erweiterung dieser Pfandregelung auf andere Bleibatterietypen bzw. Anwendungsbereiche ist für eine zukünftige Fassung der BattV bereits angedacht.

kus. Außerdem lassen sich die heutzutage verarbeiteten geringen Mengen dieses Schwermetalls weder ökonomisch noch ökologisch in vernünftiger Weise im Kreislauf führen. Im NiMH-Akku befinden sich zwar absolut gesehen höhere Mengen des ebenfalls umweltgefährdenden Schwermetalls Nickel, dies wird allerdings durch die höhere Energiedichte (Energie pro Volumen) relativiert. Auch wird Nickel im allgemeinen im Vergleich zu Cadmium als weniger gefährlich eingestuft. Darüber hinaus handelt es sich bei Nickel um ein breiter eingesetztes Metall, dessen Stoffströme daher eher als kreislauff geeignet einzustufen sind. Die Einschätzungen in Bezug auf die Umwelteigenschaften von NiMH- im Vergleich zu NiCd-Akkus waren auch Bestandteil der Ergebnisse einer Studie für ein Europäisches Umweltzeichen im Auftrag der EU (vgl. Scholl et al. 1998) und werden auch durch die jüngsten Ergebnisse der Stiftung Warentest gestützt (vgl. Stiftung Warentest 2000).

Als besonders schadstoffarme Variante gilt die seit einigen Jahren auf dem Markt befindliche **RAM-Zelle** (Wiederaufladbare Alkali-Mangan Primärbatterie), die daher auch bereits den Blauen Engel erhalten kann (RAL-UZ 92). Aus der Tabelle 7 geht jedoch hervor, dass dieser Batterietyp aus technischer Sicht nur für bestimmte Anwendungen geeignet ist, insbesondere wenn man den aus ökologischer Sicht wichtigen Aspekt der Lebensdauer mit in den Blick nimmt. Die Stiftung Warentest lässt in ihrer aktuellen Untersuchung den RAM-Mignon-Zellen eine mangelhafte Bewertung zuteil werden (vgl. Stiftung Warentest 2000). Dieses Ergebnis kann im wesentlichen auf den direkten Vergleich von Eigenschaften (z.B. Zyklenverhalten) der untersuchten Zelltypen (RAM, NiCd- und NiMH-Akkus) zurückgeführt werden, wobei diese direkte Vergleichbarkeit jedoch in Frage zu stellen ist. Auch jüngste Forschungsergebnisse über den Einsatz in photovoltaischen Kleinsystemen sprechen sich gegen eine Anwendung von RAM-Zellen im Vergleich zu anderen Speichersystemen aus (vgl. Jossen/Döring 1999). Allerdings finden sich in der Praxis durchaus Anwendungen, bei denen die RAM-Zelle geeignet erscheint und zum Einsatz kommt (Ergebnis der Herstellerbefragung). Gegenüber einer Primärzelle weist die solar geladene RAM-Zelle im Regelfall aufgrund ihrer längeren Lebensdauer ökologische Vorteile auf. Außerdem entfällt bei einer PV-gekoppelten Anwendung das RAM-spezifische Ladegerät, welches bei der Gesamtbewertung von RAM-Zellen ein gewichtiges Negativargument darstellt. Eine verallgemeinernde Aussage über die Effizienz von RAM-Zellen in PV-Systemen im Vergleich zu anderen Speichersystemen kann jedoch nicht abgeleitet werden, dies hängt von den technischen Anforderungen und Einsatzbedingungen ab. Es wird empfohlen, die RAM-Zelle trotz einiger nachteiliger Eigenschaften (z.B. eingeschränkte Zyklenfestigkeit) nicht auszuschließen.

Die diversen **Lithium-Batteriesysteme** weisen i.d.R. eine besonders hohe Energiedichte auf. Sie werden daher aufgrund ihres vergleichsweise geringen Gewichts bei hoher Energieverfügbarkeit bereits in vielen Anwendungen, bei denen dies eine wichtige Rolle spielt, trotz ihres hohen Preises eingesetzt, so dass daher für die Zukunft von einer weiteren Verbreitung, technischen Verbesserung sowie einer Preisreduktion dieser Systeme ausgegangen werden kann. Der Lithium-Ionen-Akku, derzeit die vielversprechendste Variante, wurde ebenfalls bereits für ein Umweltzeichen vorgeschlagen (vgl. Scholl et al. 1998), einige Lithium-Batteriesysteme tragen bereits den Blauen Engel (RAL-UZ 50). Mit einer deutlichen Zunahme der Lithium-Systeme entstehen jedoch auch hier zum einen Umweltgefahrenpotentiale, zum anderen steigen u.U. die Sicherheitsrisiken bezüglich der Handhabung bzw. bei der Rückführung, da hier bei einigen Systemen Explosionsgefahren entstehen können.

Neben den elektrochemischen Speichersystemen wurden in den letzten Jahren auch physikalische Speicher (**Kondensatoren**) bis zu einer Leistungsstärke entwickelt, in der sie bei einigen Anwendungen mit Batterien konkurrieren können. Bei den hier untersuchten Anwendungen betrifft dies prinzipiell nur den kleinen Leistungsbereich der Uhren.²⁶ In diesem Zusammenhang sind die sog. Doppelschichtkondensatoren relevant (vgl. Dietrich et al. 1996, Panasonic information o.J.). Von diesem Kondensatortyp sind verbreitete Modelle am Markt, die keine organischen Halogenverbindungen bzw. insgesamt keine als toxisch oder gefährlich zu bezeichnenden Materialien enthalten, so dass hier die bisherigen Anforderungen aus dem Umweltzeichen RAL-UZ 47 zum einen als ausreichend und zum anderen auch für die neuen Kondensatortypen als erfüllbar eingestuft werden können. Daher wird für PV-Geräte, deren Energiespeicher ein Kondensator ist bzw. die keine Batterie aufweisen, empfohlen, sie weiterhin unter dem bestehenden Umweltzeichen RAL-UZ 47 zu führen.

3.1.1.3 Zur Lebensdauer der Akkumulatoren

Die Angaben der Tabelle 7 zur Lebensdauer sind als Richtgrößen einzustufen, die für optimale Anwendungsbedingungen gelten. Tatsächlich wirken verschiedene Parameter auf die Lebensdauer eines Akkus, woraus sich eher eine Streuung der Lebensdauer in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung ergibt.

Zum Beispiel gilt für alle Batteriesysteme, dass sie in Bezug auf ihr Lade- und Entladeverhalten, ihre Selbstentladung und insofern ihre gesamte Lebensdauer stark **temperaturabhängig** sind (vgl. Kuhmann 199x, Jossen et al. 1999). Außerdem weisen die verschiedenen Batterietypen unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der **Zyklentiefe** auf - wie es an einigen Beispielen in der Tabelle 7 aufgezeigt ist.

Damit hängt die Lebensdauer der Akkus also prinzipiell von der richtigen Zuordnung von Akkutyp bzw. Akkueigenschaften zum entsprechenden Aufgaben- und Einsatzprofil ab. Die Komplexität dieses Zusammenhangs verdeutlicht jedoch auch, dass hier in der Regel eine überwachende bzw. regelnde Elektronik nötig wird. Eine geeignete **Ladeelektronik** kann wesentlich zur Langlebigkeit der eingesetzten Batterie beitragen. Hierbei kann es sich um einen batteriespezifischen Laderegler handeln, der den Be- und Entladevorgang gemäß den Anforderungen des jeweiligen Speichersystems regelt oder im einfachsten Fall um eine Diode, die beispielsweise gegen Überladung schützt. Die Batterietypen erfordern in den meisten solaren Anwendungen entweder einen Schutz vor Überladung (Batterietypen: Pb, NiCd, NiMH, RAM, Li-Ion, LiMe) oder bzw. und vor Tiefentladung (Pb, Li-Ion, LiMe), da sie ansonsten bei fehlendem Schutz zerstört werden können.

3.1.1.4 Zwischenfazit

- ⇒ Weil der Akku i.d.R. die lebensdauerbegrenzende technische Komponente ist, ist die Auswechselbarkeit der Batterien durch den Kunden zu fordern. Dies ist in geeigneter Weise zu dokumentieren.

²⁶ Allerdings gehen hier die Entwicklungen nach Aussagen der Hersteller eindeutig hin zu den Akkumulatoren, da durch deren wesentlich höhere Gangreserve ein größerer Komfort geboten werden kann.

- ⇒ Für den hier untersuchten Bereich der PV-Produkte mit Speichersystemen kann ein Ausschluss für NiCd-Akkus aus ökologischer, technischer und ökonomischer Hinsicht gerechtfertigt werden. Der Hersteller muss daher einen cadmiumfreien Akku als Erstakku verwenden und außerdem deutliche Hinweise auf cadmiumfreie Ersatzbatterien geben.
- ⇒ Eine weitere Eingrenzung von Batterietypen (z.B. in Bezug auf Bleibatterien) erscheint aus heutiger Sicht nicht praktikabel. Hier sind allerdings deutliche Hinweise zur Einhaltung der Entsorgungsverpflichtungen gemäß BattV bzw. geltender Richtlinien in der Produktbeschreibung zu fordern.
- ⇒ Das Produkt sollte je nach Akkutyp einen Überlade- und / oder Tiefentladeschutz aufweisen (siehe oben). Weitere, die Lebensdauer der Akkus betreffende Anforderungen bezüglich des Zusammenspiels von Anwendungsbedingungen und technischen Parametern sollten jedoch nicht näher spezifiziert werden. Dies wird implizit durch den übergreifenden Aspekt der Funktionssicherheit berücksichtigt. Allerdings sollten diesbezüglich Hinweise in der Produktbeschreibung erfolgen, die einsatzbezogene, batterie-spezifische Risiken und gegebenenfalls geeignete Gegenmaßnahmen zur Wiederherstellung oder Erhaltung der Leistungsfähigkeit der Batterie beschreiben.

Aus der obigen Argumentation geht außerdem hervor, dass das hier angestrebte Umweltzeichen für PV-Produkte mit Batterien nicht darauf reduziert werden kann, nur solche Batterien zuzulassen, die bereits ein Umweltzeichen aufweisen.

3.1.2 Schadstoffrelevanz sonstiger Produktteile

Die weiteren solarspezifischen Produktkomponenten sind im wesentlichen der PV-Generator (Solarzellen) und die Elektronik. Die Produktbestandteile, welche die eigentliche Funktion des Produkts ausmachen (z.B. Uhrwerk oder Lampe) sowie die Gehäuse wurden ebenfalls in den Blick genommen, spielen jedoch nur eine untergeordnete Rolle.

3.1.2.1 PV-Generatoren

Als PV-Generatoren kommen prinzipiell alle Solarzellenmaterialien in Frage. Eingesetzt werden hier je nach Leistungsanforderung, Einbaubedingungen und Designaspekten sowohl Reststücke von Solarzellen bzw. -wafern bis hin zu ganzen Modulen, die entweder integriert oder als externer bzw. abnehmbarer Produktbestandteil konstruiert werden. Dementsprechend können die Materialien, die im Zusammenhang mit dem PV-Generator auftreten können, und deren Umweltrelevanz differieren.

3.1.2.1.1 Zellenmaterial

Die Wahl des Solarzellenmaterials hängt nicht nur von technischen, sondern auch von ökonomischen sowie gestalterischen Anforderungen ab. In der Regel werden siliziumbasierte Zellen eingesetzt, sowohl die mono- und polykristallinen (Dickschichtzellen), als auch die amorphen Dünnschichtzellen. Diesen Zellen wird im allgemeinen eine geringe Umweltrelevanz zugesprochen, sie gelten als vergleichsweise unproblematisch in der Herstellung,

schadstofffrei während der Nutzung und schadstoffarm im Entsorgungsfall (vgl. Wambach 1998, BINE 1998).

Neben den klassischen Siliziumvarianten können auch neue Dünnschichtsolarzellen aus den Materialien Kupfer-Indium-(Di)Selenid (CIS) sowie Cadmium-Tellurid (CdTe) zum Einsatz kommen.²⁷ Als eine Größenordnung für den Schadstoffgehalt dieser Zellen können Angaben aus der Produktion von Modulen dienen (vgl. BINE 1998, Steinberger 1998): „Wegen unterschiedlicher Schichtdicken und in Verbindung mit unterschiedlichen Prozeßwirkungsgraden ergibt sich eine für die vier untersuchten Cd-Te-Module aufzuwendende Menge an Cd im Bereich von ca. 10 g bis 530 g pro m², was einem Faktor von 53 entspricht. Nach Fertigstellung ergibt sich bei den untersuchten Modulen eine Streuung des Cd-Gehalts von 6 g bis 66 g je m².“ (Steinberger 1998, S.8)²⁸ Die CIS-Zellen gelten als weniger umweltgefährlich; hier ist Selen am ehesten als kritisch einzustufen²⁹; es kommt bei CIS-Modulen in einer Menge von ca. 5 g pro m² vor. Untersuchungen zum Verhalten von CIS- und CdTe-Modulen bei Störfällen während der Betriebsphase ergaben in beiden Fällen in Bezug auf die möglichen Freisetzungen toxischer Stoffe kein signifikantes Gefahrenpotential.³⁰ Dies wird zusätzlich durch die Tatsache unterstützt, dass es sich in den hier betrachteten Produkt-Anwendungen jeweils um (teilweise wesentlich) kleinere Solarmaterial-Flächen bzw. Materialmengen als bei den Anlagen-Modulen handelt und sich somit auch die Gesundheitsgefährdung im Störfall verringert. Für den Fall der Entsorgung fällt diese Bewertung jedoch anders aus. Aufgrund der Tatsache, dass die meisten der Produkte im Hausmüll landen, gelangen damit die hier beschriebenen Schadstoffe entweder über die Deponie oder die thermische Verwertung in die Umwelt und stellen dementsprechend ein Gefährdungspotential dar.

Aufgrund der besonderen Gefährdung durch Cadmium und dem besonderen Augenmerk auf diesen Schadstoff im Rahmen dieser Studie wird insofern empfohlen, den Einsatz von Cd-haltigen Solarzellen in PV-Produkten mit Speichermedien auszuschließen. Diese Anforderung stellt nach bisherigem Kenntnisstand und auf der Basis der Befragungsergebnisse auch keine unzumutbare Einschränkung für die betrachteten Anwendungen dar.

3.1.2.1.2 Zusatzstoffe PV-Generatoren

Zusätzlich spielen bei den Solargeneratoren häufig Schutzfolien und Einbettungsmaterialien aus Kunststoff, (Schutz-)Gläser und Kleber eine Rolle. Die verwendeten Gläser sind in der Regel speziell gehärtet, weisen jedoch aus ökologischer Sicht kein besonderes Gefährdungspotential auf (vgl. Wambach 1998). Der quantitative Anteil der für den PV-Generator

²⁷ Allerdings war dies in keinem der untersuchten Produkte der Fall. Für den Bereich der Module wurden diese Materialien vorerst noch ausgeschlossen, da hier erst Produktionskapazitäten geschaffen werden, und insofern noch keine marktgängigen Daten vorliegen.

²⁸ Hierbei ist zu beachten, dass der gewählte Kennwert in g / m² nur schwer vergleichbar ist. Steinberger (1998) stellt einige Vergleiche auf der Basis dieser Größe an. Danach ergibt sich, dass z.B. beschichtetes Blech den oberen Wert um mindestens das Dreifache übersteigt, NiCd-Akkus gar um das 10- bis 20-fache.

²⁹ Selen ist zwar für den menschlichen Organismus essentiell, in zu hohen Dosen jedoch gefährlich sowie bedenklich in der Verbindung H₂Se.

³⁰ Nur bei CdTe-Modulen mit sehr hohem Cadmiumgehalt können Risiken während des Betriebs nicht völlig ausgeschlossen werden (Steinberger 1998).

eingesetzten Kunststoffe und der Versiegelungen bzw. Verklebungen kann als vergleichsweise gering eingestuft werden. Über das Spektrum und die Umweltrelevanz der eingesetzten Materialien liegen weder allgemeine noch in Bezug auf die untersuchten Produkte herstellerseitige Angaben bzw. Untersuchungen vor. Das häufigste Einbettungsmaterial ist EVA (Ethylenvinylacetat), was als vergleichsweise unbedenklich eingestuft werden kann (vgl. Greenpeace o. J.). Als problematisch sind die Rückseitenfolien der Zellen bzw. Module anzusehen, da sie in der Regel halogenierte Kohlenwasserstoffe enthalten. Die Alternative zu einer derartigen Rückseitenfolie ist normalerweise wie bei der Frontabdeckung Glas, das jedoch vergleichsweise schwer ist, alternative Polymere sind jedoch nicht bekannt (nähere Ausführungen siehe im Abschnitt über Module, 3.2.2.1.2).

3.1.2.2 Elektronik und sonstige Produktteile

Aus der Befragung der Hersteller gingen keine spezifischen Erkenntnisse über umweltrelevante Inhaltsstoffe der Elektronik und der sonstigen Bauteile hervor. Hier ist jedoch davon auszugehen, dass Schadstoffe in den verwendeten Kunststoffen, Elektronikkomponenten und Metallen enthalten sein können.

Wie bereits im obigen Fall ist in Bezug auf die Schwermetalle ein prinzipieller Ausschluss von cadmierten Teilen zu fordern, so, wie dies auch bereits im Umweltzeichen RAL-UZ 47 formuliert wurde. Darüber hinaus sollte bei Kunststoffen, Flammenschutzmitteln und Kondensatoren auf den Einsatz halogenierter Kohlenwasserstoffe (z.B. PVC, PCB) verzichtet werden.³¹

⇒ Damit ist ein prinzipieller Ausschluss von Materialien und Bauteilen zu fordern, die halogenierte organische Stoffe sowie Cadmium enthalten. Eine Ausnahme ist hier lediglich für die Rückseitenfolie des Solargenerators vorzusehen.

3.1.3 Recyclinggerechte Konstruktion und Entsorgung

Keines der untersuchten Produkte wird derzeit vom Hersteller zurückgenommen, d.h. die untersuchten Produkte landen in der Regel auf dem Hausmüll. Die Anforderung einer Rückführung und damit verbundenen ordnungsgemäßen stofflichen Verwertung der Produkte wird allerdings aus derzeitiger Sicht als nicht durchführbar angesehen. Zum einen werden die betrachteten Produkte in einer nicht sehr hohen Stückzahl vertrieben, so dass der logistische Aufwand der Rückführung teilweise als zu hoch angesehen werden muss, was zudem durch sehr heterogene Vertriebswege und meist klein- und mittelständische Unternehmensstrukturen verstärkt wird. Zum anderen existieren beispielsweise für die PV-Generatoren noch keine praxiserprobten, kommerziellen Wiederaufarbeitungs- bzw. Verwertungsverfahren.

³¹ Laut aktuellem Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über Elektro- und Elektronikaltgeräte bzw. zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten verzichten bereits jetzt einige Hersteller bei zahlreichen Anwendungen auf den Einsatz der oben genannten Inhaltsstoffe, woraus der Schluss gezogen wird, dass die Umstellungskosten als relativ gering einzuschätzen sind (EU-Kommission 2000).

Aufgrund der beschriebenen Entsorgungssituation spielt dementsprechend nach Auskunft der Hersteller eine recyclinggerechte Konstruktion (z.B. Berücksichtigung geeigneter Verbindungstechnik, Werkstoffwahl, Werkstoffkennzeichnung) nur eine untergeordnete Rolle, da auch Reparaturen oder Wartungsarbeiten der Produkte in der Regel nicht anfallen. Der einzige „Wartungsakt“ bezieht sich normalerweise auf das Auswechseln des Akkus, was jedoch in einfacher Weise und am Besten durch den Kunden selbst durchführbar sein sollte.

Bei der derzeitigen Entsorgungssituation besteht jedoch die Gefahr, dass die in den Produkten enthaltenen Batterien ebenfalls entgegen den Anordnungen der Batterieverordnung und trotz ihrer Entnehmbarkeit im Hausmüll landen.

⇒ Die Hersteller sollten deutliche Hinweise in der Produktbeschreibung bezüglich der ordnungsgemäßen Entsorgung der Batterien sowie des Gesamtprodukts angeben.

3.1.4 Gebrauchstauglichkeit und Produktqualität

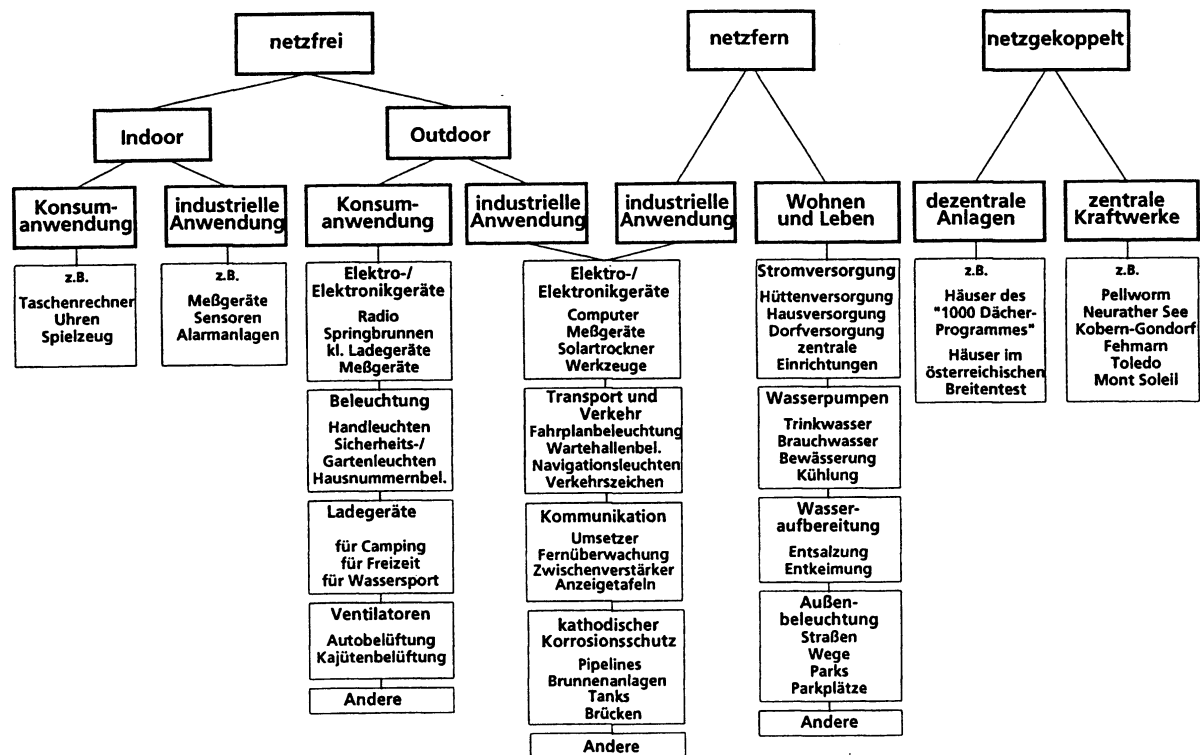
Produkte, die mit dem Umweltzeichen versehen werden, dürfen keine geringere Qualität aufweisen, d.h. nicht weniger sicher oder gebrauchstauglich sein, als andere vergleichbare Produkte. In Bezug auf die Aspekte Qualität und Gebrauchstauglichkeit steht bei den untersuchten PV-Produkten zum einen ihre Funktionssicherheit im Vordergrund, daneben aber auch ihre Lebensdauer, die einerseits bereits im Rahmen der Speicherbetrachtung behandelt wurde, andererseits über die Produktgarantie Berücksichtigung finden soll. Im Rahmen dieses Abschnitts werden auch die in diesem Zusammenhang relevanten Gesetze und Vereinbarungen behandelt, bei denen es im wesentlichen um die Richtlinienkonformität und die Produktsicherheit geht.

3.1.4.1 Funktionssicherheit

Die Verbreitung photovoltaisch versorgter Technik am Markt wird ganz entscheidend damit zusammenhängen, dass der Nutzer möglichst keine Einschränkungen in der Anwendung des Gerätes im Vergleich zu konventionellen Produkten hinnehmen muss. Neben der ökologischen Vorteilhaftigkeit sollten hier also die Zuverlässigkeit, Betriebssicherheit und das Handling des Produktes eine zentrale Rolle spielen (vgl. ISE 2000). Diese Eigenschaften – die hier unter dem Begriff der Funktionssicherheit näher beleuchtet werden – haben insofern für die Lebensdauer des einzelnen Produkts und die Verbreitung des jeweiligen Produkttyps entscheidende Bedeutung und damit auch eine hohe Umweltrelevanz. Die richtige Dimensionierung des Solargenerators und der Speicherbatterie spielt für die Funktionssicherheit eines photovoltaischen Energieversorgungssystems eine sehr wichtige Rolle (vgl. Roth/Steinhüser 1999).

Als problematisch erweist sich in diesem Zusammenhang die Festlegung geeigneter Nachweis- bzw. Prüfmethoden, um die Funktionssicherheit in adäquater, aussagefähiger und vergleichbarer Art und Weise sicherzustellen. Dies betrifft zum einen die Festlegung der Funktionen der untersuchten Produkte an sich, zum anderen die schwankenden Bedingungen, denen das Energiesystem sowohl in klimatischer als auch einsatzbezogener Hinsicht über die Zeit ausgesetzt ist.

Zur Lösung dieses Problems bietet es sich an, prinzipiell zwischen sog. Indoor- und Outdoor-Produkten zu unterscheiden (vgl. **Abbildung 1**).



Quelle: Roth 1997

Abbildung 1: Systematik photovoltaischer Produkte

Für Indoor-Produkte, d.h. Produkte, die (auch) unter Innenraum-Bedingungen funktionieren müssen (in unserem Fall die Armbanduhr und der Solarwecker), sollten durchschnittliche Werte für eine Mindest-Lichtmenge angegeben werden, bei der die volle Funktion des Produktes gewährleistet ist. Darüber hinaus ist zusätzlich eine Mindest-Dunkelzeit bzw. Dunkelgangreserve des Speichers sinnvoll, d.h. es muss eine Zeit ohne Lichtenergiezufluss sicher überbrückt werden können. Geht man von einer Kunstlichtquelle, z.B. vom Fluoreszenzlicht einer Leuchtstofflampe aus, dann kann die Lichtmenge angegeben werden, die über den Tag verteilt nötig ist, um die volle Funktionsfähigkeit sicherzustellen. Die physikalische Einheit hierfür ist Lux h / Tag (vgl. Pfanner/Roth 1998; diese Einheit findet auch bereits im Umweltzeichen RAL-UZ 47 Anwendung).

⇒ Für Indoor-Produkte sollte insofern jeweils eine (durchschnittliche) Mindest-Lichtmenge sowie eine Mindest-Gangreserve der Batterie festgelegt werden, bei der die Produkte die angegebenen Funktionen zuverlässig erfüllen müssen. Der Hersteller muss diese Funktionssicherheit durch die Angabe aller technisch relevanten Auslegungsdaten (Leistungsaufnahme des Verbrauchers bei definiertem Funktionsprofil, Daten zu Modul und Speicher) und dementsprechende Berechnungen nachweisen.

Bei den **Outdoor-Produkten** (in unserem Fall Gartenleuchte, Hausnummernbeleuchtung und Weidezaungerät) gestaltet sich die Ermittlung von Mindestwerten zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit aufgrund der klimatischen Schwankungen deutlich schwieriger. Zur Lö-

sung dieses Problems schlagen wir vor, den Nachweis der Funktionssicherheit der Outdoor-Produkte anhand von **Ergebnissen einer rechnergestützten Simulation** zu erbringen. Eingang in die Simulation finden die produktspezifischen Leistungsdaten von Verbraucher, Modul und Akku sowie die erforderlichen Wetterdaten. Der Energiebedarf des Verbrauchers muss auf der Basis der tatsächlichen Einsatzbedingungen ermittelt und dokumentiert werden. Die Daten von Modul und Akku sollten aus einem technischen Datenblatt des Herstellers hervorgehen. Im Ergebnis soll eine Mindest-Funktionssicherheit über die sog. **Solare Deckungsrate** angegeben werden, die bei vollständiger Sicherheit, d.h. zuverlässiger Funktionswahrscheinlichkeit zu jeder Zeit des Jahres, 100 % beträgt. Die Solare Deckungsrate gibt den Anteil der genutzten Solarenergie (die über Solargenerator und Speicher zur Verfügung gestellt wird) am Gesamtenergiebedarf des Produkts bzw. Verbrauchers an. Die letztlich zu fordernde Höhe der Deckungsrate hängt von der Bedeutung der Funktionssicherheit in der jeweiligen Anwendung ab. Weitere Anforderungen sind durch die Vorgabe der **Strahlungsbedingungen** gegeben. Diese sind im wesentlichen von den klimatischen Bedingungen des Standorts, dem betrachteten Zeitraum sowie der Ausrichtung und dem Anstellwinkel des Solargenerators abhängig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für ein deutschlandweit vertriebenes Produkt ein dementsprechend ungünstiger, d.h. norddeutscher Strahlungsdatensatz verwendet wird.

- ⇒ Die Hersteller sollen auf der Basis definierter Produktfunktionen, aus dem der Energieverbrauch ableiten lässt, die Funktionssicherheit des Geräts anhand einer rechnergestützten Simulation bis zu einer vorgegebenen Solaren Deckungsrate nachweisen.

Derzeit werden von den befragten Herstellern noch keine Simulationsprogramme eingesetzt; die Entwicklung von Solarprodukten beruht in der Praxis häufig auf Erfahrungswerten der Entwickler. Derzeit gibt es über ein Dutzend geeigneter Programme auf dem Markt, die teilweise bereits mehrfach überarbeitet und mit benutzerfreundlicher Oberfläche gestaltet sind.³² Der Nachweis durch die Simulation sollte auch durch einen Dritten erfolgen können, so dass hier nicht unbedingt eine Anschaffung notwendig (aber durchaus empfehlenswert) wäre. Bei derart komplexen Auslegungen ist die rechnerunterstützte Simulation nicht nur ein wichtiges technisches, sondern auch ökonomisches Hilfsmittel. Und im vorliegenden Kontext ist sie zumindest als ein hinreichend genaues Instrument anzusehen, um die Funktionssicherheit des Produktes in einem gewissen Rahmen überprüfen zu können.³³

3.1.4.2 Herstellergarantie

Die Produktgarantie ist ein wichtiges Instrument, das für die Qualität und Lebensdauer des Produktes steht. Dementsprechend ist hier eine angemessene Mindestgarantie zu fordern. Diese sollte bei PV-Produkten nicht unter einem Jahr liegen, da es sich in allen Jahreszeiten zu bewähren hat und somit die Mindestdauer eines Jahres erforderlich wird. Aus der Her-

³² Vgl. hierzu aktuelle Darstellung der Zeitschrift Photon (Zehner et al. 2000). Die Preise für derartige Programme liegen ca. zwischen 200 und 1000 DM.

³³ Mit einer derartigen Anforderung wäre darüber hinaus auch einem Kritikpunkt des bisherigen Umweltzeichens für Solarprodukte genüge getan, der seitens einiger Hersteller bezüglich der fehlenden Überprüfung der im RAL-UZ 47 aufgeführten Anforderungen zur Funktionserfüllung geäußert wurde.

stellerbefragung geht hervor, dass nur wenige Hersteller eine Garantie auf alle Komponenten geben, häufig wird beispielsweise der Akku ausgeschlossen. Andererseits wurde bei der Befragung in allen Anwendungen eine Lebensdauer von größer 3 Jahren angegeben. Der Einschluss des Akku in die Garantiebestimmungen stünde auch für die Qualität der Ladeelektronik.

- ⇒ Daher sollte der Hersteller zum einen auf alle Bauteile bzw. Komponenten (d.h. inklusive Erstakku und Modul), zum anderen auf die Erfüllung aller in der Produktbeschreibung angegebenen Funktionen (Gewährung von Funktionssicherheit) mindestens 1 Jahr Garantie geben.

3.1.4.3 Richtlinienkonformität und Produktsicherheit

Der Aspekt der Produktsicherheit berührt zum einen die Funktionssicherheit, die bereits oben behandelt wurde, zum anderen betrifft sie die allgemeine technische Sicherheit, d.h. zum Beispiel die Sicherheit im Umgang oder die Auswirkungen auf Mensch, Umwelt und andere technische Geräte. Hierin spielen auch Anforderungen bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit der Geräte. Aus den Ergebnissen der Befragung ging hervor, dass in allen Produktbereichen Produkte mit einem CE-Zeichen gekennzeichnet wurden (jedoch nicht von allen Herstellern). Mit dem CE-Zeichen wird angezeigt, dass grundlegende Sicherheitsanforderungen, wie sie in jeweils produktspezifischen Richtlinien genannt sind (die jeweils wieder auf technische Normen verweisen), eingehalten werden. Darüber hinaus bedeutet das CE-Zeichen die grundsätzliche Einhaltung aller anzuwendenden Richtlinien (Richtlinienkonformität). Für einige Produkte, beispielsweise diejenigen, die unter die EMV-Richtlinie der EU fallen (bzw. die deutsche Umsetzung des EMVG), ist die CE-Kennzeichnung zur Pflicht erhoben worden.³⁴ Ein über diese Kennzeichnung und der damit angezeigten Bekundung der Richtlinienkonformität hinausgehendes Label, welches beispielsweise von unabhängigen Institutionen vergeben wird (z.B. Prüfzeichen wie das GS-Zeichen für geprüfte Sicherheit) konnte in keinem Fall festgestellt werden.

- ⇒ Daraus leitet sich ab, dass als Voraussetzung für die Vergabe des Umweltzeichens für Geräte gemäß Geltungsbereich ein Nachweis der Richtlinienkonformität und der Berechtigung zum Führen des CE-Zeichens zu fordern ist.

3.1.5 Produktspezifische Aspekte

3.1.5.1 Armbanduhren

Solar-Armbanduhren gehören zu den am meisten verkauften Solar-Anwendungen. Dabei ist jedoch unklar, wie viele von den Solar-Armbanduhren einen Kondensator und wie viele Batterien aufweisen. Allerdings nimmt die Zahl der Varianten mit Batterie nach Auskunft einiger

³⁴ Das EMVG gibt eine Auflistung von Produkten (genauer: Kategorien) vor, die in jedem Fall EMV-gerecht gestaltet sein müssen. Dazu gehören Rundfunkgeräte, Fernsehgeräte, Elektro-Haushaltsgeräte, handgeführte Elektrowerkzeuge, Leuchten, Leuchtstofflampen, Funkgeräte aller Art, Industrieausrüstungen, informationstechnische Geräte und Telekommunikationsgeräte.

Experten zu, da mit dem Einsatz von elektrochemischen Systemen die Funktionssicherheit weit über den Kondensator-Varianten liegt, und dies von den Kunden vermehrt gewünscht wird. Die Anzahl der Hersteller von Solar-Armbanduhren für den deutschen Markt ist gering. Es wurden zwar mehrere Anbieter (Händler) von Solar-Armbanduhren, jedoch nur 3 deutsche und ein weiterer ausländischer Hersteller ermittelt, die für den deutschen Markt produzieren. Davon konnten zwei Hersteller für die Befragung gewonnen werden.

Die befragten Hersteller verwenden bei den Armbanduhren i.d.R. die leichten Lithium-Systeme. Diese Akkus weisen nach einheitlichen Angaben eine Lebensdauer von ca. 10 Jahren auf. Im Vergleich zu durchschnittlichen Primärzellen, die in vergleichbaren Anwendungen ungefähr 2-3 Jahre halten, entspricht dies einer **3- bis 5-fach höheren Lebensdauer**. In beiden Fällen wurde von den Herstellern angegeben, dass die Armbanduhren sowohl einen Überlade- wie auch einen Tiefentladeschutz für den Speicher aufweisen.

Die Lebensdauer des gesamten Produktes wird mit durchschnittlich 10-15 Jahren angegeben, d.h. in dieser Anwendung ist die Lebensdauer des Akkus vergleichsweise hoch. Dennoch wurde der Akku auch bei den Armbanduhren als die in der Regel lebensdauerbegrenzende Komponente genannt, weshalb seine Auswechselbarkeit zu fordern ist. Bei Armbanduhren erfolgt dies allerdings in der Regel nicht durch den Kunden selbst, sondern durch den Fachmann, da es sich hier um einen feinmechanischen Eingriff handelt und die verwendeten Akkus üblicherweise nicht im Handel erhältlich sind. Daher sollte bezüglich der Auswechselbarkeit im Fall der Armbanduhren eine Ausnahme von der Regelung gemacht werden, die Auswechslung müsse durch den Kunden erfolgen.

Zur Erfüllung der angegebenen Funktionen wurden von den befragten Herstellern von Solar-Armbanduhren verschiedene Mindestwerte angegeben. In einem Fall wurde als Größe für das volle Funktionieren eine Beleuchtungsstärke von 25 Lux (Kerzenlicht, ohne nähere Angabe), im anderen Fall eine Lichtmenge von 600-900 Luxh/Tag genannt. Als Dunkelzeiten wurden Zeiträume von 120 bis 200 Tagen bei Vollladung des Akkus genannt. Für das bestehende Umweltzeichen RAL-UZ 47 wird für Armbanduhren eine Lichtmenge von 2000 Luxh/Tag und eine Dunkelzeit von 48 Stunden bei Vollladung gefordert.

Aufgrund der vergleichsweise großen Dunkelgangreserve der Akkus ist die Funktionssicherheit der untersuchten Uhren und auch die Aufladung ihrer Akkus unter normalen Innenraumbedingungen (Fluoreszenzbeleuchtung, Tageslicht, teilweise Abdeckung der Uhr durch Kleidung) als sicher einzustufen.

⇒ Daher sollte eine Solar-Armbanduhr mit Batteriespeicher zuverlässig ihre volle Funktion (gemäß der vom Hersteller definierten Leistungsaufnahme beim durchschnittlichen Verbrauchsprofil) bei einer Lichtmenge von 900 Luxh/Tag (Fluoreszenzlicht) erfüllen und die Batterie bei Vollladung eine Dunkelgangreserve von 120 Tagen aufweisen.

Ein Umweltzeichen für PV-Armbanduhren mit Speichermedien ist primär damit begründbar, dass sie die (marktbeherrschende) Variante mit Primärbatterieversorgung substituieren kann. Allerdings konkurriert die hier betrachtete Solaruhr mit Batterie auch mit der PV-Kondensator-Variante sowie mit der mechanischen Armbanduhr, die beide das bereits bestehende Umweltzeichen (RAL-UZ 47) erhalten können. Die Batterie-Variante weist jedoch

gegenüber der Kondensator-Variante (z.T. auch gegenüber mechanischen Uhren) eine deutlich höhere Funktionssicherheit auf, die von den Kunden gewünscht ist und nach Aussagen der Hersteller - in Bezug auf den Vergleich der beiden Solarvarianten - an Marktbedeutung gewinnt. Nicht zuletzt diese hohe Zuverlässigkeit macht die hier betrachtete Solaruhr mit Akku zu einem wichtigen Imageträger für die Solartechnik.

3.1.5.2 Solarwecker

Auch Solarwecker werden bereits in einer bedeutenden Stückzahl verkauft. Bei näherer Untersuchung des Marktes zeigte sich, dass es durchaus viele Anbieter, jedoch nur eine sehr geringe Anzahl an Herstellern gibt: es wurden lediglich zwei deutsche Hersteller ermittelt. Davon ist der eine Hersteller am Markt dominierend; dieser konnte auch für die Untersuchung gewonnen werden. Ausländische Fabrikate spielen auf dem deutschen Markt ebenso eine Rolle, hierüber liegen jedoch keine weiteren Erkenntnisse vor.

Der befragte Hersteller hatte bereits beim Erscheinen des Umweltzeichens RAL-UZ 47 großes Interesse an einer Vergabe. Da sich Solarwecker nur sehr eingeschränkt auf der Basis von Kondensatoren betreiben lassen, entwickelte der Hersteller ein Modell mit einer RAM-Zelle, die ebenfalls ein Umweltzeichen erhalten kann. Seinem Wunsch nach einem Umweltzeichen für seinen Solarwecker konnte bislang jedoch nicht entsprochen werden.

Über die Lebensdauer der RAM-Zelle in dieser Anwendung liegen noch keine genauen Erfahrungswerte vor, voraussichtlich liegt sie aber über der Lebensdauer von Primärzellen in vergleichbaren Anwendungen, die 1-2 Jahre beträgt. Die Batterie ist durch den Kunden auswechselbar, als Ersatzakkus können NiMH-, aber auch NiCd-Akkus verwendet werden. Es existiert ein Überlade-, jedoch kein Tiefentladeschutz. Die Lebensdauer des gesamten Produkts (ohne Batterie) wird mit 10 Jahren angegeben. Es wird amorphes Solarzellenmaterial verwendet. Die Garantieleistung des Weckers beträgt ein Jahr und bezieht sich auf alle Komponenten. Der Wecker erfüllt seine volle Funktion bei einer Lichtmenge von 2000 Luxh/Tag Tageslicht. Er weist eine vergleichsweise große Dunkelgangreserve von 300 Tagen auf.

⇒ Für Solarwecker wird empfohlen, dass die volle Funktion (gemäß der vom Hersteller definierten Leistungsaufnahme beim durchschnittlichen Funktionsprofil) bei einer Lichtmenge von 2000 Luxh/Tag (Fluoreszenzlicht) und eine Dunkelgangreserve der Batterie bei Vollladung von 120 Tagen erfüllen zu können.

3.1.5.3 Hausnummernbeleuchtungen

Das Produkt Solar-Hausnummernbeleuchtung wird derzeit von vier Herstellern in Deutschland produziert. Von diesen haben drei an der Befragung teilgenommen.

Die **Lebensdauer** der analysierten Produkte wurde mit mindestens 8-10 Jahren angegeben. Die Akkus, die in den untersuchten Produkten eingesetzt wurden, sind in zwei Fällen NiCd-Batterien und in einem Fall eine Blei-Rundzelle. Die Lebensdauer der NiCd-Akkus wird mit 3-4 bzw. mit 5 Jahren, die des Blei-Akkus mit 8-10 Jahren angegeben. Damit erreicht der Blei-Akku in dieser Anwendung die deutlich längste Lebensdauer. Im Vergleich zu alternativen Produktvarianten zeigt sich: Eine primärbatteriebetriebenes Vergleichsprodukt hätte bei ähn-

lichem Aufbau höchstens eine Lebensdauer von einem halben Jahr. Realistischer ist jedoch der Vergleich mit einer netzbetriebenen Lösung. Solarbetriebene Hausnummernbeleuchtungen kommen zwar einerseits aus Dekorations- oder Imagegründen zum Einsatz, andererseits werden sie aber auch oft dann eingesetzt, wenn ein Netzanschluss nur in vergleichsweise aufwendiger Weise zu bewerkstelligen ist. Wenn letzterer Fall vorliegt, kann aufgrund des in der Regel zu betreibenden Aufwandes (Material, u.U. Einsatz eines Handwerkers, Anfahrt, Anbringungsaufwand etc.) von einem **Umweltvorteil** des Solargeräts mit Akku im Vergleich zur Netzvariante ausgegangen werden.³⁵

Bei zwei der Hausnummernbeleuchtungen sind die Akkus auswechselbar, bei einer jedoch fest verlötet, wobei der Hersteller hier eine Auswechselung anbietet und dabei auch die ordnungsgemäße Entsorgung des NiCd-Akkus zusichert. Die NiCd-Akkus können beide durch NiMH-Akkus ersetzt werden, wobei dies in einem Fall nur mit Änderungen am System möglich ist. Im Fall der verwendeten Blei-Rundzelle kann nach Aussagen des Herstellers kein anderer Akku eingesetzt werden. Alle Geräte haben einen Überlade- und einen Tiefentladeschutz. Die Akkus weisen eine Gangreserve zwischen 3 und 20 Tagen auf, wobei hier die Bleizelle den höchsten Wert erzielt.

Als **Leuchtmittel** wurden in allen Fällen sog. Hochleistungs-LEDs³⁶ eingesetzt. Der Einsatz von LEDs ist im solaren Anwendungsbereich von Vorteil, da sie besonders energieeffizient sind (ca. 85 % geringerer Energieverbrauch als Glühlampen) und eine sehr lange Lebensdauer aufweisen (bis zu 100.000 h). Der chemische Grundbestandteil nahezu aller Dioden ist Gallium, welches knapp und daher teuer ist. Einige der Dioden können teilweise giftige Arsen- und Phosphorverbindungen enthalten, neuere Entwicklungen sind jedoch als weniger umweltgefährlich einzustufen (vgl. Hollmann-Wiberg 1995). Die Produkthersteller konnten zu den Inhaltstoffen der Dioden keine Angaben machen. Angesichts der innovativen Entwicklung auf dem Markt der Dioden (Entwicklung neuer Farben und Stoffgemische) in den letzten Jahren kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Aussage über die Verbreitung bzw. Verfügbarkeit und die technisch-ökonomische Äquivalenz neuerer Dioden gesagt werden. Es wird empfohlen, in Bezug auf die Dioden zunächst keine spezifischen Anforderungen zu formulieren.³⁷

Die Solargeneratoren bestehen in den untersuchten Fällen aus amorphen Zellen. Einige sind abnehmbar und mit einem Kabel mit dem Gerät verbunden. Der Generator kann somit an einer bezüglich der solaren Einstrahlung günstigeren Hausfront angebracht werden.

Die **Funktion** einer Hausnummernbeleuchtung besteht darin, über die ganze Nacht hinweg die Hausnummer bzw. die beleuchtete Fläche in ausreichender Helligkeit zu präsentieren. Problematisch ist hierbei, einen praktikablen Nachweis für die „ausreichende Helligkeit“ bzw. die Lesbarkeit der Hausnummer festzulegen. Die technisch möglichen Nachweisverfahren (z.B. durch die sog. Ulbrichtkugel) sind als unverhältnismäßig aufwendig und in unserem

³⁵ Eine genauere Analyse dieses Sachverhaltes jenseits einer groben Abschätzung liegt jedoch nicht vor; hier wäre eine Untersuchung beispielsweise auf der Basis einer vergleichenden Ökobilanz notwendig.

³⁶ LED: Light Emitting Diode.

³⁷ Es wird jedoch ebenso empfohlen, aufgrund der neuen Entwicklungen und der zunehmenden Bedeutung von LEDs in vielen Anwendungsbereichen eine breitere Untersuchung zu diesem Thema durchzuführen.

Zusammenhang darüber hinaus als nicht zielführend zu bezeichnen. Daher wird diesbezüglich vorgeschlagen, den Hersteller zu einer Erklärung zu verpflichten, dass die Schriftzüge auf der Hausnummernbeleuchtung von einer durchschnittlichen Testperson auf eine Entfernung von 10 m noch gut lesbar sind.

Zur **Funktionssicherheit** äußerte sich nur ein Hersteller, der angab, das Produkt funktioniere ganzjährig, auch wenn es an einer Nordwand angebracht sei. Die Funktionssicherheit sollte bei Hausnummernbeleuchtungen hoch sein, da diesbezüglich einerseits teilweise Vorschriften einzuhalten sind (die länderspezifisch unterschiedlich ausfallen), andererseits z.B. im Fall von krankheitsbedingten Notfällen das Auffinden der Hausnummer lebenswichtig sein kann. Dementsprechend geben die Hersteller hier Solare Deckungsraten von 98 - 100 % an, wobei diesbezüglich die Einsatzbedingungen nicht klar definiert sind.

- ⇒ Für die Hausnummernbeleuchtung sollte mindestens eine Solare Deckungsrate von 98 % gefordert werden. Diese Funktionssicherheit sollte prinzipiell an jeder Hauswand erreicht werden können. Für den Anbringungsfall an einer Nordwand sollte es gestattet sein, diese Funktionssicherheit auch durch die Anbringung eines abnehmbaren Solar-Panels an einer direkt benachbarten Wand zu erreichen. Der Hersteller muss die Einhaltung dieser Bedingungen zur Funktionssicherheit anhand von Ergebnissen einer rechnergestützten Simulation nachweisen und zudem versichern, dass seine Hausnummernbeleuchtung in einem Abstand von 10 m noch gut lesbar ist.

3.1.5.4 Gartenleuchten

Gartenleuchten erzielen im Bereich der solaren Konsumprodukte derzeit die höchsten verkauften Stückzahlen. Allerdings gibt es auch hier nur eine geringe Anzahl von deutschen Herstellern (nach derzeitigem Kenntnisstand drei), von denen zwei an der Befragung teilgenommen haben.

Die **Lebensdauer** der Produkte wird von den Herstellern mit 8 bzw. 10 Jahren angegeben. Als Leuchtmittel werden auch bei den Gartenleuchten in beiden Fällen die energiesparenden LEDs eingesetzt (zur Diskussion der Umweltrelevanz dieser Dioden vgl. vorherigen Abschnitt). Die Solarzellen waren in einem Fall aus amorphem, im anderen Fall aus monokristallinem Silizium. Es werden in beiden Fällen NiCd-Akkus eingesetzt, es können aber auch jeweils NiMH-Akkus verwendet werden. In beiden Produkten sind die Akkus auswechselbar. Die Lebensdauer der Akkus, die auch in dieser Anwendung als die begrenzende Komponente angegeben werden, liegt zwischen 3 und 5 Jahren.

Die Lebensdauer einer Primärbatterie in vergleichbarer Anwendung wird von einem Hersteller auf nur wenige Tage bzw. Wochen geschätzt. Genauere Angaben liegen hierüber jedoch nicht vor. Auch hier ist die Frage nach einem geeigneten Vergleichsmodell zu stellen. Die Solargartenleuchten haben in der Form, in der sie angeboten werden, selten primärbatteriebetriebene, eher netzbetriebene Konkurrenzprodukte. Inwieweit hier jedoch tatsächlich eine Vergleichbarkeit bzw. ein Substitutionsverhältnis gegeben ist, konnte nicht genau festgestellt werden. Beim Vergleich einer Solar-Gartenleuchte mit einer netzbetriebenen Variante kann von einer Einsparung an Primärenergie ausgegangen werden. Hier sind in der

Regel zusätzlich weitere umweltrelevante Aktivitäten und Ressourcenverbräuche zur Einrichtung des Netzanschlusses zu berücksichtigen.

Ein wesentlicher Grund, der die Vergleichbarkeit von Solar-Gartenleuchten mit netzbetriebenen Gartenleuchten allerdings begrenzt, liegt in der Tatsache begründet, dass die Beleuchtungsstärke bzw. die Helligkeit der Solarprodukte in der Regel deutlich geringer ist. Dies liegt an den technisch-ökonomischen Restriktionen des Systems. Wenn die Gartenleuchte besonders hell leuchten soll, geht dies aufgrund der Kapazität des Akkus zu Lasten der Leuchtdauer. Solar-Gartenleuchten haben daher häufig primär dekorativen Charakter. Aufgrund dieser Bedingungen wird es als ungeeignet angesehen, eine Anforderung in Bezug auf eine Mindest-Helligkeit oder Leuchtdauer zu stellen. In Bezug auf die Helligkeit wäre dies ohnehin mit dem bereits erwähnten Problem der Messmethodik und Prüfbarkeit verbunden.

- ⇒ Daher wird empfohlen, die Funktionssicherheit von Solar-Gartenleuchten auf der Basis der vom Hersteller angegebenen (strahlungsabhängigen) Leuchtdauern durch rechnergestützte Simulationsergebnisse bestätigen zu lassen. Ferner muss der Hersteller die Abhängigkeit der Leuchtdauer von den jahreszeitlichen Strahlungsverhältnissen in der Produktbeschreibung in geeigneter Weise dokumentieren. In Bezug auf die vom Hersteller angegebenen Leuchtdauern ist im Rahmen der Simulation eine Solare Deckungsrate von mindestens 95 % zu erzielen.

3.1.5.5 Solarweidezaungerät

Die Nachrecherche zu den Solarweidezaungeräten ergab, dass diese derzeit in einer Größenordnung von ca. 1000 Stück in Deutschland abgesetzt werden. Es wurden insgesamt 7 Anbieter ermittelt, die alle Spezialisten im Bereich Weidezaungeräte oder Agrartechnik sind. Es haben 3 Anbieter an der Untersuchung teilgenommen. Der Anteil des gegenwärtigen Absatzes an Solargeräten liegt nach Auskunft der Anbieter bei 2-5 %. Mit 45-50 % weisen primärbatteriebetriebene Weidezaungeräte den größten Marktanteil auf. Die netzbetriebenen Varianten werden zwischen 25 und 35 %, die akkubetriebenen zwischen 15 und 25 % Marktanteil geschätzt.

Die Lebensdauer der Solar-Weidezaungeräte wurde zwischen 5 und 10 Jahren angegeben. Die eingesetzten Module (ausschließlich aus mono- oder polykristallinen Siliziumzellen) erreichen alle diese Lebensdauer. Als Akkus wurden in zwei Fällen Blei-Gel-, in einem Fall ein Kfz-Akku angegeben. Die Lebensdauer dieser Akkus beträgt 3-5 Jahre. Alle Akkus sind auswechselbar. Der Vergleich zu der häufigsten Produktvariante, dem Weidezaungerät mit Primärbatterie, zeigt, dass vergleichbare Primärbatterien zwischen 0,5 und einem Jahr halten, was eine 3- bis 10-fache Lebensdauer der Solarakkus bedeutet. Im Vergleich zu den netzbetriebenen Varianten sind hier wieder die Ressourcenverbräuche zu berücksichtigen, die zur Herstellung der Netzanbindung erforderlich werden. Die eingesetzten Akkus weisen nur in einem Fall einen Überladeschutz und in einem anderen Fall einen Tiefentladeschutz auf. Zwei der Weidezaungeräte werden als wintertauglich angegeben. Dabei erreichen diese beiden laut Angaben der Hersteller Deckungsraten von 95 bis nahe 100 % (im dritten Fall werden nur 70 % erreicht). Als Gangreserve werden Werte von etwa 10 - 15 Tagen angegeben.

Die genaue Funktion von Weidezaungeräten variiert in Abhängigkeit von ihrem Einsatzbereich. Der Elektrozaun soll durch kurze, ungefährliche Stromschläge eine Barriere für eingezäunte Tiere bilden. Das Weidezaungerät liefert hierzu regelmäßige Stromimpulse. Die benötigte Leistungsstärke des Geräts ist im wesentlichen von der Art der einzuzäunenden Tiere (wichtig ist hier die Spannung bei Tierberührung), von der Zaunlänge und dem Bewuchs abhängig.

Solar-Weidezaungeräte werden in unterschiedlichen Ausstattungsstufen angeboten. Es gibt Kompletteräte mit integriertem Modul und Batterie, aber auch separate Solar-Geräte, d.h. ohne die beiden Komponenten Modul und Akku. Wichtig für die Gewährleistung der Funktionssicherheit auf die vom Hersteller angegebenen Funktionen ist jedoch, dass alle hierfür vorgesehenen, d.h. ausgelegten Komponenten auch verkauft werden.

⇒ Deshalb wird empfohlen, für eine Umweltzeichenvergabe nur Komplettanlagen mit Solarmodul und Akku zuzulassen. Der Hersteller muss für die von ihm angegebenen Funktionen bzw. den durchschnittlichen Verbrauch über die vorgesehene Anwendungszeit (ganzjährig oder definierte Monate) die Funktionssicherheit auf der Basis von rechnergestützten Simulationsergebnissen nachweisen. Die Solare Deckungsrate muss auf der Basis der obigen Randbedingungen 100 % betragen.

3.2 PV-Anlagen

Die Bewertung von PV-Anlagen bezieht sich auf Basis der Ergebnisse des ersten Projektteilschrittes auf die Einzelbewertung der beiden Hauptkomponenten, dem PV-Modul und dem Solar-Wechselrichter.³⁸ Nachfolgend wird zunächst auf den grundlegenden Aspekt der Energiebilanz von PV-Anlagen eingegangen, bevor die Module und Wechselrichter einzeln dargestellt werden.

3.2.1 Exkurs: Zur Energiebilanz der Photovoltaik

PV-Anlagen können während der Betriebsphase als nahezu schadstofffrei bezeichnet werden: sie verbrauchen keine Brennstoffe und weisen keine nennenswerten Emissionen auf. Um so stärker fallen jedoch die Lebensphasen der Herstellung und Entsorgung ins Gewicht. In der Vergangenheit wurde häufig die Frage der Energiebilanz bzw. der energetischen Amortisation von PV-Anlagen kontrovers diskutiert. Ihr wurde in einigen Forschungsvorhaben mit dem Schwerpunkt auf den Energieaufwand zur Herstellung nachgegangen (Überblick in: Hagedorn 1997, Staiß 2000). In diesen Untersuchungen wurden auf der Basis der Methodik des kumulierten Energieaufwands positive Ergebnisse ermittelt: Je nach verwendeter Technologie und Aufstellungsort sind bei PV-Anlagen 3-7 Jahre erforderlich, bis die energetische Amortisation erreicht ist. In Relation zu einer angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren beträgt dies 15-35 % der gesamten Nutzungszeit. Als CO₂-Reduktionspotential je kWh Nettostromerzeugung wurde für die photovoltaische Stromerzeugung gegenüber dem

³⁸ Die Bewertung ganzer PV-Anlagen könnte sich einerseits auf verkaufte Komplettsysteme, andererseits auf installierte Anlagen beziehen. Die Beurteilung von angebotenen Komplettsystemen als Ganzes ist als ungeeignet anzusehen, da deren Zusammensetzung variabel ist und auch je nach Einsatzbereich sein sollte. Die Bewertung bestehender Anlagen bezöge sich primär auf den Aspekt der Dienstleistung des Installateurs.

deutschen Kraftwerksmix ein Wert von über 60% ermittelt (vgl. Hagedorn 1997, Quaschnig 1999).³⁹

Bislang gibt es neben den energetischen und teilweise CO₂-bezogenen Analysen nur wenige Erkenntnisse über die allgemeine Umweltrelevanz der Photovoltaik. In einem größeren Verbundvorhaben wurden ansatzweise Sachbilanzen zur Umweltrelevanz der Herstellung einzelner Anwendungen erstellt (vgl. Hagedorn 1997, Wagner/Pfisterer 1993). Eine Bewertung (im Sinne einer Ökobilanz: Wirkungsabschätzung) konnte jedoch derzeit nicht geleistet werden, weder für die Umweltrelevanz der Herstellung der untersuchten speziellen Fälle, noch im Hinblick auf diesbezügliche verallgemeinernde Aussagen. Der gesamte Lebensweg inklusive Entsorgung wurde bislang noch nicht näher untersucht.

Als effektive Reduktionsmaßnahme des herstellungsseitigen Energieaufwands sowie des Schadstoffeintrags von Modulen in die Umwelt allgemein ist das Recycling von Modulen anzusehen. Diesbezüglich gibt es seit einigen Jahren F+E-Vorhaben sowohl in der Forschung als auch bei vereinzelt Herstellern. In einigen Untersuchungen wird davon ausgegangen, dass allein mit dem Recycling des Siliziums, welches den höchsten Energiegehalt aufweist, eine mehrfache Reduktion der Amortisationszeit erzielt werden kann (vgl. Staiß 2000). Die Untersuchungen haben derzeit jedoch noch keine Praxisreife oder breitere Anwendung (automatisierte Verfahren, Rückführsysteme) erlangt - was derzeit auch an den zu geringen Rückläufen liegt.

Die bisherigen Untersuchungen zeigen damit einerseits eine deutlich positive Energiebilanz der Photovoltaik auf, lassen jedoch andererseits nur unzureichende Aussagen über die allgemeine Umweltverträglichkeit dieser Technologie zu. Insbesondere letzterem Aspekt werden wir in der nachfolgenden Analyse daher besondere Aufmerksamkeit widmen, wobei der Aspekt der Energiebilanz aus Gründen der Wirtschaftlichkeit der Photovoltaik nicht an Bedeutung verloren hat.

3.2.2 PV-Module

Auf der Basis der Marktanalyse wurden PV-Module aus kristallinen Silizium-Dickschichtzellen (mono- und polykristalline Siliziumzellen) für den weiteren Gang der Untersuchung und für den Geltungsbereich eines möglichen Umweltzeichens ausgewählt.⁴⁰ Aus der Fragebogenerhebung liegen Angaben von 10 Herstellern vor.

In der Befragung der Modul-Hersteller gab die überwiegende Anzahl eine positive Einstellung gegenüber einem Umweltzeichen an. Dabei wurden zur Begründung meist Verkaufs-

³⁹ Hierbei ist einschränkend jedoch zu berücksichtigen, dass die Berechnungen mit überdurchschnittlichen Modulen durchgeführt wurden, deren Modulwirkungsgrade um über 2 % über den derzeitigen Marktdurchschnittswerten liegen. Durch eine entsprechende Korrektur würde die Vorteilhaftigkeit der PV jedoch nicht wesentlich entkräftet.

⁴⁰ Dünnschichttechnologien wurden ausgeschlossen, da einerseits die amorphen nicht direkt mit den hier betrachteten Modulen konkurrieren, da sie primär als Fassadenanwendungen eingesetzt werden und damit andere Eigenschaften aufweisen; andererseits werden die neueren Zellmaterialien wie CIS und CdTe erst jetzt von jeweils einem Hersteller in den Markt eingeführt, so dass hier für eine Bewertung noch keine hinreichenden Daten bekannt sind.

und Imagegründe angegeben. Es wurde auch eine größere Transparenz der technischen Angaben und der Qualität gewünscht, sowie in einem Fall eine Kontrolle der Produktionsprozesse.

Die Zukunftsperspektive der Photovoltaik wird maßgeblich von wirtschaftlichen Aspekten abhängen. Die wirtschaftliche Rentabilität hängt mit Produktionsbedingungen und Stückzahlen, aber auch mit produktbezogenen Kenngrößen wie Wirkungsgrad, Qualität und Lebensdauer zusammen, welche daher in der nachfolgenden Untersuchung im Vordergrund stehen. Daneben sollte aus ökologischer Sicht der Aspekt der allgemeinen Umweltverträglichkeit des Produkts gerade angesichts stark wachsender Absatzzahlen ins Blickfeld rücken - dies betrifft mögliche Gefahrstoffe sowie Recyclingstrategien.

3.2.2.1 Schadstoffrelevanz

Bei der Betrachtung der Umweltrelevanz der Solarmodule sind vor allem Gefahren während der Herstellung und Entsorgung zu berücksichtigen, wohingegen die Schadstoffemissionen im Normalbetrieb - im Vergleich zu primärenergieverbrauchenden Anlagen - als vernachlässigbar einzustufen sind. Während der Nutzungsphase sind eventuelle Folgen nur aufgrund von Störfällen (Anlagenhavarie) zu beachten.⁴¹ Die hier untersuchten Solarmodule auf der Basis von kristallinem (und amorphem) Silizium weisen diesbezüglich jedoch keine bekannten Gefahren auf (vgl. Wambach 1998).

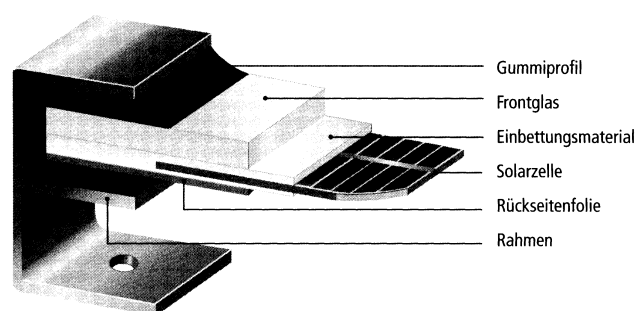
3.2.2.1.1 Allgemeine Untersuchungen

Zur allgemeinen Umweltrelevanz der Herstellungsphase liegen bislang nur wenige Untersuchungen vor. Dabei konnten positive Ergebnisse bezüglich der CO₂-Emissionen ermittelt werden: Für einen Fertigungsprozess der Größe 2 MW pro Jahr liegt das Einsparpotential gegenüber dem deutschen Kraftwerksmix bei über 60 %, bei deutlich größeren Kapazitäten von 25 MW sogar bei über 76 %. Bezüglich der sonstigen Umweltrelevanz liegen jedoch über einige Stoffbilanzen spezifischer Anwendungsfälle hinaus keine verallgemeinerbaren Ergebnisse bzw. sinnvollen Vergleiche vor (vgl. Hagedorn 1997).

3.2.2.1.2 Komponenten und Materialien

Der Aufbau eines Moduls mit seinen wesentlichen Materialien und Schichten kann allgemein wie in **Abbildung 2** dargestellt werden.

Der **Rahmen** dient der Stabilität und Sicherheit des Produkts und kann daher die Lebensdauer erhöhen - er erhöht jedoch auch das Gewicht (der Massenanteil des Rahmens kann nach Wambach (1998) bis



Quelle: Henze / Hillebrand 1999

Abbildung 2: Allgemeiner Modulaufbau

⁴¹ Auswaschung bei Glasbruch sowie Verbrennung.

zu 50 % betragen) und kann aus Materialien bestehen, die aus Umweltsicht als problematisch einzustufen sind. Dazu zählen die verbreiteten Aluminium-Rahmen, da Aluminium in der Herstellung besonders energieintensiv ist. Die Aluminium-Rahmen (hell oder dunkel eloxiert) sind am weitesten verbreitet, daneben gibt es auch Rahmen aus Edelstahl (z.B. für den Einsatz in Küstengebieten, vgl. Photon 2000a). Module mit einer derartigen Rahmung sollten zerlegungsgerecht konstruiert sein, damit diese einer Wiederverwertung zugänglich gemacht werden kann.

Es gibt auch **rahmenlose Module**, die als sog. Laminat angeboten werden. Diese sind entsprechend materialsparender und weisen dem gemäß ein geringeres Transportgewicht auf. Demgegenüber können sie jedoch Stabilitäts- oder Sicherheitsrisiken in sich bergen und leichter beschädigt werden. Aus der obigen Argumentation leitet sich insofern keine besondere Bevorzugung für ein Modul mit oder ohne Rahmen ab. Hier sind genauere empirische Erfahrungswerte im Umgang mit beiden Varianten erforderlich.

Die Solarzellen müssen vor Schäden durch Handhabung und Klima geschützt werden. Daher werden sie, wie die **Abbildung 2** zeigt, in stabile Materialien eingebettet. Auf der Frontseite ist dies in der Regel hochtransparentes, spezialgehärtetes und eisenarmes Glas. Die Zellen werden zur inneren Verschaltung durch Löt- oder Schweißnähte (in der Regel Kupfer oder Aluminiumbänder) miteinander verbunden. Die Solarzellen werden in der Regel in einer Ethylen-Vinyl-Acetat- (EVA-) Folie eingebettet. EVA erhält im allgemeinen Zusätze wie Oxidationsverhinderer, UV-Stabilisatoren und Haftvermittler (vgl. Schulze 1999). Die Rückseite wird in der Regel mit einer mehrlagigen, hochfesten Kunststoff-Folie oder durch eine zweite Glasscheibe verschlossen und der Glaszwischenraum versiegelt. Bei den Rückseitenfolien kommen derzeit hauptsächlich Materialien zum Einsatz, die halogenorganische Kohlenwasserstoffe enthalten. Hier sind vor allem fluorhaltige Tedlarfolien (chem. Bezeichnung: Polyvinylfluorid), die im Verbund mit Polyesther und teils Aluminium eingesetzt werden, zu nennen (vgl. Wambach 1998, Schulze 1999). Alternativ werden auch andere Fluorpolymere wie beispielsweise Tefzel eingesetzt.⁴² Derartige Fluorpolymere gelten als toxisch. Daher sollten hier möglichst Ersatzstoffe zum Einsatz kommen. Derartige Ersatzmaterialien mit vergleichbaren Eigenschaften sind jedoch nicht bekannt bzw. ihr Einsatz in der Praxis ist nicht bekannt. Die Alternative zur dieser Folienbeschichtung ist eine Glasscheibe bzw. Isolierglas. Allerdings ist bei Glas wiederum das (deutlich) höhere Gewicht bei einer Bewertung zu berücksichtigen - das Frontglas hat einen Anteil von ca. 30 %, mit Rückseitenglas liegt der Wert bei bis zu 65 % (vgl. Wambach 1998). Werden auf beiden Seiten Glasplatten verwendet, kann neben der EVA-Laminierung auch ein Gießharzverfahren angewendet werden, bei dem Vergussmassen (beispielsweise Acrylate) zur Erhärtung eingefüllt werden; dieses Verfahren wird jedoch wesentlich seltener praktiziert. Weitere Schadstoffquellen können Kabel und Dosen sein, wenn sie beispielsweise aus PVC o.ä. halogenhaltigen organischen Stoffen bestehen.⁴³

⇒ Die Verwendung von Materialien, die halogenorganische Kohlenwasserstoffe enthalten, ist zu vermeiden. Eine Ausnahme dieser Anforderung muss zum gegenwärtigen

⁴² Ein Copolymerisat aus Ethylen und Tetrafluorethylen (Grundsubstanz für Teflon).

⁴³ Vereinzelt sind auch Rahmen aus PVC.

Zeitpunkt das Material der Rückseitenfolie bilden, für welches die Anwendung von Fluoropolymeren erlaubt sein soll. Die Verwendung von halogenhaltigen Kunststoffen ist unter Angabe der genauen Bezeichnung im Datenblatt anzuzeigen.

3.2.2.2 Rücknahme, Recycling und Entsorgung

Eine Rückführung und ein Recycling von PV-Modulen findet derzeit nicht in nennenswertem Umfang statt.⁴⁴ Zum einen existieren derzeit nur wenige automatisierbare Verfahren, zum anderen ist der stückzahlmäßige Rücklauf aufgrund der langen Lebensdauer der Module noch zu gering (vgl. Wambach 1998, BINE 1998). Da sich letztere Situation gegenwärtig verändert, planen mehrere Hersteller sowohl aus ökologischen Motiven (Entsorgungsproblem), als auch aus ökonomischen Gründen (kostengünstigere Wiederaufarbeitung von teuren Wertstoffen wie Silizium; vgl. Staiß 2000) das Thema Recycling aufzugreifen. Dieser Eindruck wird durch die Ergebnisse unserer Befragung gestützt: Hier gaben bereits mehrere Hersteller an, die Rücknahme der Module anzubieten. Einige dieser Hersteller achten auch bereits darauf, die Module recyclinggerecht zu konstruieren. Die VDI-Richtlinie 2243 spielt bei den Modulen jedoch keine Rolle. Dies liegt u.a. darin begründet, dass diese Richtlinie in ihren wesentlichen Anforderungen den Konstruktionsprinzipien bzw. dem Aufbau der Module widerspricht, da es sich im Regelfall um ein kompaktes Verbundprodukt handelt (bzw. handeln muss). Ein umfassendes Recycling wird derzeit von keinem der befragten Unternehmen in größerem Umfang durchgeführt, hier wurden lediglich Versuchsreihen und Patente genannt bzw. angekündigt.⁴⁵

⇒ In Anbetracht der gegenwärtigen und mit Blick auf die zukünftige Situation sollten daher Anforderungen bezüglich der Rücknahme der Module durch die Hersteller sowie eine recyclinggerechte Konstruktion formuliert werden.

3.2.2.3 Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle oder eines Moduls ist definiert als das Verhältnis zwischen der abgegebenen elektrischen Leistung und der eingestrahlten Leistung. Er ist damit auch ein wichtiger Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsindikator. Er wird aus der Strom-Spannungs-(I-U)-Kennlinie der Solarzelle berechnet. Der Wirkungsgrad ist bei der Berechnung auf eine Fläche zu beziehen, da auch die Einstrahlungsleistung pro Fläche angegeben ist.⁴⁶ Üblicherweise werden in diesem Zusammenhang der Zellenwirkungsgrad und der Modulwirkungsgrad angegeben. Die Bestimmung des Zellwirkungsgrades basiert auf der Nennspannung und der Fläche einer Solarzelle, die des Modulwirkungsgrades auf Nennspannung und Fläche des Moduls, welche in beiden Fällen auf die Solarstrahlung (Standardtestbedingungen STC) bezogen wird. In Bezug auf die jeweilige Flächenbestimmung liegen keine ge-

⁴⁴ Ein fabrikinternes Recycling, d.h. die Wiederverwertung von Rohstoffausschuss, ist dagegen bei fast allen Herstellern Stand der Technik.

⁴⁵ Beispielsweise wurden Patente der Firmen Siemens und Flabeg Solar angeführt, darüber hinaus gab es Forschungsvorhaben von Pilkington (vgl. Wambach 1998) sowie derzeit von der ISFH/ISET Kassel und der Uni Leuven (Belgien).

⁴⁶ Der Wirkungsgrad ist eine dimensionslose Größe und wird in Prozent angegeben.

normten Definitionen vor. Für den hier vorliegenden Zusammenhang sollte der Modulwirkungsgrad ermittelt werden, und dieser aus direkten Messungen am Modul ermittelt werden. Häufig wird der Modulwirkungsgrad auf die gesamte Modulfläche bezogen und damit auch Faktoren wie Randabstand und Packungsdichte der Zellen berücksichtigt. Damit würden jedoch gerahmte und (in Bezug auf die Solarzellen) speziell gestaltete Module benachteiligt, ohne dass eine derartige Benachteiligung - nach derzeitigem Erkenntnisstand - gerechtfertigt erscheint (vgl. hierzu auch die Argumentation zur Rahmung in 3.2.2.1.2). Daher sollte der Modulwirkungsgrad nur auf die aktive Fläche, d.h. die Solarzellen bezogen und Abstände, Rand und Rahmung nicht berücksichtigt werden. Der Modulwirkungsgrad wird damit dem Zellwirkungsgrad vergleichbar, wobei die Messungen am Modul vorgenommen werden.

Aus der Herstellerbefragung ging hervor, dass der Modulwirkungsgrad in allen Fällen von einer unabhängigen Institution im Rahmen der Qualitätsprüfung nach IEC 61215 ermittelt wird. Für die Analyse des Modulwirkungsgrads standen aktuelle Angaben von etwas mehr als 200 mono- und polykristallinen Modulen von 28 Herstellern zur Verfügung (Datenübersicht Photon 2000a). Unter Berücksichtigung der Module bis 200 W Nennleistung (192 Modelle) ergibt sich eine Verteilung wie in Abbildung 3.

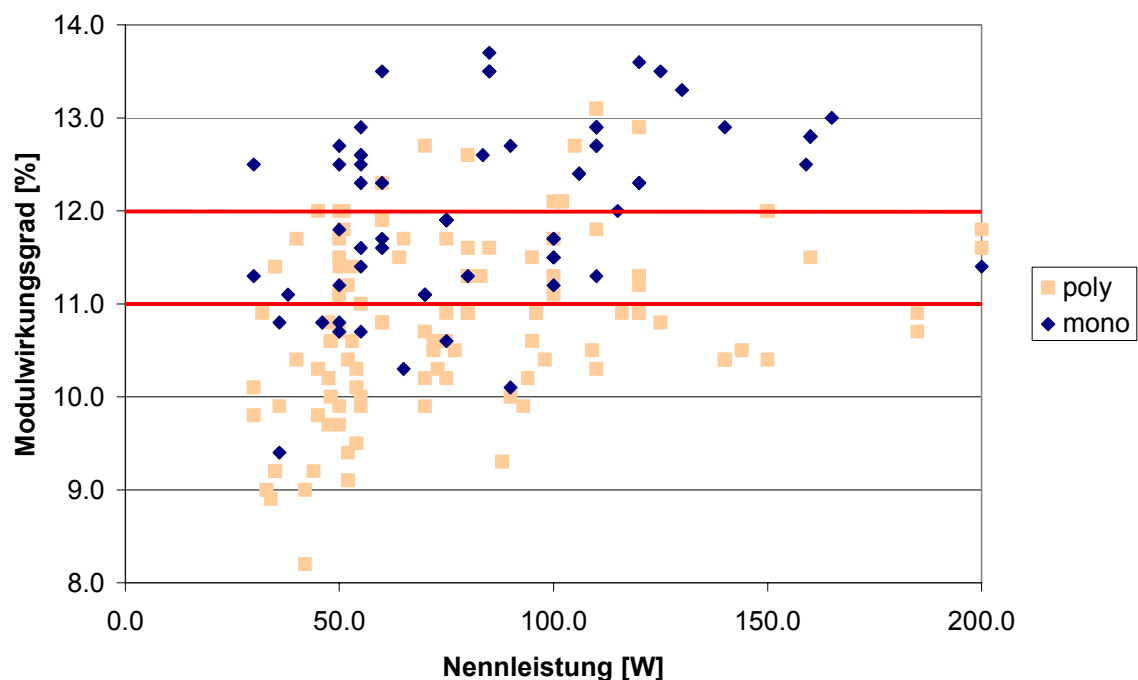


Abbildung 3: Modulwirkungsgrade (mono / poly)

Die Abbildung zeigt deutlich, dass monokristalline Module tendenziell einen etwas höheren Wirkungsgrad aufweisen als die polykristallinen. Dies ist durch physikalisch-technische Zusammenhänge bedingt. Darüber hinaus ist ein leicht positiver Zusammenhang zwischen Wirkungsgrad und Nennleistung zu erkennen, der sich jedoch nicht auf technisch-physikalische Ursachen zurückführen lässt. Daher werden die Anforderungen an den Wirkungsgrad in Bezug auf die Zelltypen unterschieden, jedoch unabhängig von der Modul- und Leistungsgröße formuliert.

Die Daten zum Modulwirkungsgrad lagen von 203 Modellen vor. Davon waren 69 aus monokristallinen und mit 134 fast doppelt so viele aus polykristallinen Zellen. Das Modul mit dem derzeit am Markt erhältlichen größten Modulwirkungsgrad liegt bei 13,7 % (mono), das höchste polykristalline Modul liegt 13.1 %. Der Modulwirkungsgrad kann als ein Ertragsindikator (der jedoch nicht allein entscheidend ist) angesehen werden. Da noch weitere Kriterien erfüllt werden sollen, wird hier als Anforderung ein Wert vorgeschlagen, der von rund der Hälfte der Module erfüllt werden kann. Anhand von Mittelwert und Median werden die Richtgrößen für die Anforderung an die Modulwirkungsgrade auf 12 % für Module aus monokristallinen Zellen und 11% für Module aus polykristallinen Zellen festgesetzt. Damit ergibt sich, wie in Tabelle 9 zu sehen ist, eine Quote von 52 % der Module mit monokristallinen Zellen und eine von 44 % bei Modulen mit polykristallinen Zellen. Insgesamt erfüllen damit 95 der Modelle die Wirkungsgradanforderung, was einer Gesamtquote von 47 % entspricht.

Tabelle 8: Kenngrößen der Modulwirkungsgrade

	Alle	Mono	Poly
Maximalwert	13.7	13.7	13.1
Minimalwert	6.9	6.9	7.8
Mittelwert	11.3	11.9	10.9
Median	11.3	12.3	10.9

Tabelle 9: Modulwirkungsgradverteilungen

Modulwirkungs- grade	Anzahl Gesamt	Anzahl Mono	Anzahl Poly
≥ 10.5 %	156	64 (93 %)	92 (62 %)
≥ 11 %	119	60 (87 %)	59 (44 %)
≥ 11.5 %	91	48 (70 %)	43 (32 %)
≥ 12 %	59	36 (52 %)	23 (18 %)
≥ 12,5 %	38	29 (42 %)	9 (7 %)

Da der Modulwirkungsgrad bei Standardtestbedingungen gemessen wird, dieser jedoch in Abhängigkeit von der schwankenden Strahlungsleistung variiert, sollte der Modulwirkungsgrad auch in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke angegeben werden. Damit kann die Eignung des Moduls für den jeweiligen Einsatzort besser bestimmt werden. Mit dieser Angabe wird darüber hinaus eine gegenwärtige Diskussion um den sog. Jahreswirkungsgrad aufgegriffen, der die unterschiedliche Solarstrahlung im Verlauf eines Jahres berücksichtigt. Über das Konzept zur Ermittlung eines derartigen Jahreswirkungsgrades besteht jedoch derzeit noch keine Einigung, weshalb er daher nicht zur Formulierung einer Anforderung herangezogen werden kann.

3.2.2.4 Produktqualität und Lebensdauer

Zur Einhaltung der oben geforderten Wirkungsgrade sollten die Module eine in Bezug auf die Leistungsdaten geringe Streubreite sowie eine hohe Alterungsbeständigkeit aufweisen.

3.2.2.4.1 Leistungstoleranz und Temperaturbeständigkeit

Wichtig für die Qualität bzw. Zuverlässigkeit der Module ist eine möglichst geringe Abweichung von der angegebenen Nennleistung des Moduls, die sog. **Leistungstoleranz**. Die Nennleistung ist die elektrische Leistung, die das Solarmodul unter standardisierten Test-

bedingungen abgibt.⁴⁷ Die Leistungstoleranz wird als abweichende Prozentangabe (+/-%) des Nennwertes angegeben. Dabei reicht das Spektrum der Angaben bei den Modulen von +/- 3 % bis hin zu +/- 16 % (vgl. Photon 2000a).⁴⁸ Die Reduzierung der Leistungstoleranz ist gleichzusetzen mit einer Qualitätssteigerung der Module und bedeutet für den Kunden eine größere Sicherheit bei der Kaufentscheidung, da er für die Nennleistung bezahlt. Die hohe Bedeutung dieses Qualitätsmerkmals wurde durch zahlreiche Untersuchungen des Fraunhofer ISE (u.a. 1000 Dächer-Programm, Umwelttarifprogramm der RWE) unterstrichen, in denen vergleichsweise hohe Abweichungen von der Nennleistung gemessen wurden (Heister / Kiefer 1999, Gabler et al. 1999). Die Tabelle 10 zeigt die Verteilungen der über 200 Module in Bezug auf ihre Leistungstoleranz, aufgeschlüsselt nach verschiedenen Mindesttoleranzwerten. Danach ergibt sich, dass die meisten Werte bei +/- 5 % und bei +/- 10 % angesiedelt sind.

Tabelle 10: Leistungstoleranzverteilungen

Leistungs- toleranz	Anzahl Module	Anzahl Mono	Anzahl Poly
≤ +/- 4 %	36	0 (0 %)	36 (27 %)
≤ +/- 5 %	94	28 (41 %)	66 (49 %)
≤ +/- 7 %	110	30 (43 %)	80 (60 %)
≤ +/- 10 %	192	66 (96 %)	126 (94 %)

⇒ Als Anforderung für die Leistungstoleranz wird für beide Modultypen als einheitlicher Wert +/- 5 % gewählt, da bei beiden eine hinreichend große Menge an Modellen diese Anforderung erfüllt. Die Leistungstoleranz wird im Rahmen der IEC-Prüfung 61215 festgestellt.

Die beiden Anforderungen Wirkungsgrad und Leistungstoleranz werden insgesamt von 27 %, d.h. 54 (17 mono, 37 poly) von 202 (68 mono, 134 poly) Modulen, für die vollständige Datensätze vorliegen, erfüllt. Dies betrifft insgesamt 15 von 33 Hersteller (7 mono, 8 poly).

Neben der Leistungstoleranz spielt auch die temperaturabhängige Leistungsabnahme des Moduls eine Rolle. Bei Erwärmung oder Kühlung verändern sich Spannung oder Strom; bei Erwärmung verringert sich die Spannung und erhöht sich der Strom. Damit verändert sich auch die Leistung des Moduls. Dieser leistungsabhängige **Temperaturkoeffizient** liegt bei den ca. 200 Modulen zwischen 0,2 und 0,5 % Leistungsänderung pro °C. Neben dieser Leistungsänderung ist in diesem Zusammenhang die Güte der Einbauart bzw. die damit verbundene Hinterlüftung ein Effekt, der die temperaturabhängige Leistungsabnahme in stärkerem Maße beeinflussen kann, weswegen für den Temperaturkoeffizienten keine Anforderungen formuliert werden sollten.

⇒ Allerdings sollte der Temperaturkoeffizient auf dem Datenblatt angegeben werden, damit die klimaabhängige Eignung eines Moduls besser eingeschätzt werden kann.

3.2.2.4.2 Alterungsbeständigkeit und Garantie

⁴⁷ Sog. STC: Standard Test Conditions: Bestrahlungsleistung 1000 W/m², Temperatur der Solarzelle von 25°C, spezifisches Sonnenspektrum (bei sog. AM 1,5-Bedingungen).

⁴⁸ Im Extremfall eines amerikanischen Herstellers werden + 30 und -10 % angegeben.

Die Module sind aufgrund der klimatischen Bedingungen einer Alterung durch Feuchte, Wärme und UV-Strahlung ausgesetzt. Im Rahmen des Qualitätstests nach IEC 61215 wird ein sog. Feuchte-Wärme-Test durchgeführt. UV-Bestrahlungstests sind in IEC 61345 standardisiert, sind also nicht in der üblichen Prüfung nach IEC 61215 enthalten. Allerdings wird im Rahmen der IEC 61215 ein sog. Außentest durchgeführt, welcher die Degradationserscheinungen der Module in der Praxis testet und insofern auch die Strahlung berücksichtigt. Daher wird empfohlen, auf die Anforderung einer speziellen UV-Strahlungsprüfung zu verzichten. Dies rechtfertigt sich außerdem dadurch, dass alle Alterungsaspekte im Rahmen von Garantieforderungen berücksichtigt werden (vgl. hierzu auch Vaaßen et al. 2000).

Als Wert für die **Lebensdauer** wurden bei der Herstellerbefragung Werte von 20 bis zu 50 Jahren genannt (wobei einige Hersteller hierzu noch keine Angaben machen konnten). Ein sehr wichtiges Instrument zur Gewährleistung dieser Lebensdauer sowie einer Mindestqualität über diesen Zeitraum sind Herstellergarantien. Bei den Garantieleistungen wird zwischen einer sog. Leistungsgarantie und einer Produktgarantie unterschieden. In der Regel bezieht sich die **Produktgarantie** auf Material- und Verarbeitungsfehler, die zum Ausfall der Anlage führen, wohingegen es bei der Leistungsgarantie um die Leistungsabnahme des Moduls geht. Die Befragung der Hersteller zeigte, dass die Produktgarantie selten über 1 Jahr beträgt. Diese Zeitspanne wird jedoch als notwendiges Mindestmaß angesehen, da das Modul und das Material sich über alle Jahreszeiten hinweg bewähren muss. Bei der **Leistungsgarantie** haben sich zwei Werte etabliert: Es werden Garantien über einen mittleren Zeitraum (i.d.R. 10 Jahre) auf 90 % der Nennleistung und / oder über einen längeren Zeitraum (zwischen 20 und 26 Jahre) auf 80 % der Nennleistung gewährt. Einige Hersteller gewähren auch eine Garantie auf die gesamte Nennleistung (Spannweite zwischen 10-26 Jahren), wobei hier in der Regel die Leistungstoleranz einbezogen ist. Aufgrund der anvisierten und aus wirtschaftlichen Gründen erforderlichen Laufzeit von mindestens 20 Jahren sollte eine Garantie einen derartigen Zeitraum ebenfalls abdecken.

⇒ Daher wird eine Leistungsgarantie von 20 Jahren auf 80 % der Nennleistung sowie eine Produktgarantie von mindestens einem Jahr verlangt.

3.2.2.5 Richtlinienkonformität und Produktsicherheit

Eine sehr wichtiger Standard für Solarmodule ist die bereits erwähnte **IEC-Norm 61215**. In dieser Norm sind viele wichtige Mindestqualitätsstandards festgelegt. Die hierin beschriebenen Prüfungen sowie die Bestimmung von Kennwerten sind durch eine unabhängige Prüfinstitution vornehmen zu lassen (ISPRA, TÜV etc.); das Zertifikat ist ein Bestandteil des Moduldatenblatts. Damit sollte die Einhaltung der IEC-Norm 61215 zu einer Grundvoraussetzung für ein Umweltzeichen werden. Mit der damit verbundenen Prüfung lässt sich gegebenenfalls die Überprüfung der oben festgelegten zusätzlichen Kennwerte oder Eigenschaften verbinden.

Eine CE-Kennzeichnungspflicht aus Gründen der elektromagnetischen Verträglichkeit besteht für Module nach EMVG nicht (vgl. Schattner et al. 1999). Aus der Befragung ergibt sich jedoch, dass viele Module trotzdem ein CE-Zeichen aufweisen. Dennoch wird empfohlen, das CE-Zeichen nicht zu einer Anforderung zu erheben, da in Bezug auf die EMV primär die Komponente Wechselrichter oder aber die Gesamtanlage betroffen ist. Bei letzterem ist das

Zusammenspiel der einzelnen Komponenten bzw. die Installationsleistung entscheidend, nicht aber das Modul an sich. Daher wird die CE-Auszeichnung des Moduls als nicht notwendig angesehen. Allerdings sollte ein Modul bezüglich der Produktsicherheit die **Schutzklasse II** (Schutzisolierung) aufweisen. Dies war immerhin bei der Hälfte der befragten Hersteller der Fall.

Aus der obigen Argumentation geht hervor, dass es - auch aus Sicherheitsgründen - wichtig ist, die modulspezifischen Angaben in Bezug auf wichtige Kenngrößen (**Datenkennblatt**) und die **Installationshinweise** beizufügen. Laut Befragung ist dies zwar überwiegend, aber nicht bei allen Herstellern der Fall, weshalb dies zu einer Anforderung erhoben werden sollte. In Bezug auf das Datenblatt sollte der Normentwurf nach DIN 40025 erfüllt werden, der gleichzeitig auch Anforderungen an das Typenschild beinhaltet.

3.2.3 Wechselrichter

Bei den Wechselrichtern wurde im ersten Projektschritt keine Auswahl nach Typen oder Leistungsklassen vorgenommen. Das bedeutet, dass sich die nachfolgenden Untersuchungen und die daraus abgeleiteten Anforderungen grundsätzlich auf alle Wechselrichter für den solaren Einsatzbereich (Modul-, Strang- und zentraler Wechselrichter) beziehen.

Nicht nur im Bereich der Module hat sich seit in Kraft treten des EEG der Markt und die Zahl der Hersteller und Produkte vergrößert, sondern auch und gerade in dem derzeit als „innovativ“ bezeichneten Markt der Wechselrichter, in dem einige Unternehmen den Schritt von der Klein- und Mittelserienfertigung in die Massenfertigung anstreben (vgl. Photon 2000b). Die Resonanz auf ein Umweltzeichen ist laut den Ergebnissen unserer Umfrage auch bei den Wechselrichter-Herstellern überwiegend positiv. Weit mehr als die Hälfte der Befragten befürwortet den Blauen Engel, wobei einige dies mit dem Argument verbinden, es dürften keine hohen Zusatzkosten entstehen. Eine ablehnende oder zweifelnde Haltung wird dementsprechend zumeist mit dem Argument begründet, dass als Kaufentscheidung eher der Preis zählen würde.

Bei der Untersuchung der Solar-Wechselrichter zeigte sich, dass die wichtigsten Aspekte in Bezug auf Anforderungen zum einen den Bereich der Energiewandlung betreffen, zum anderen die Umweltrelevanz im allgemeinen. Ersteres wird im wesentlichen durch Indikatoren wie Wirkungsgrad und Energieeffizienz beschrieben, die wesentlich für eine optimale Solarstromausbeute verantwortlich sind. Die allgemeine Umweltrelevanz des Gerätes bezieht sich eher auf die Gefahrstoffe, die von ihm ausgehen können, und beinhaltet damit auch Kreislaufstrategien wie Recycling. Schließlich spielt beim Wechselrichter als leistungselektronisches Gerät der Aspekt der Produktsicherheit eine große Rolle.

3.2.3.1 Schadstoffrelevanz und Recycling

In Bezug auf die **Schadstoffrelevanz** weisen Wechselrichter die spezifischen Probleme von elektrotechnischen Geräten auf: Sie enthalten elektronische Bauteile (wie Dioden, Kondensatoren oder Leiterplatten) und Kunststoffe (z.B. für das Gehäuse), die giftige oder problematische Stoffe enthalten können (z.B. halogenorganische Kohlenwasserstoffe). In Bezug auf den Gewichtsanteil werden vor allem Metalle, aber auch Schwermetalle (beispielsweise als Lötmetall) eingesetzt. In einer ökobilanziellen Untersuchung eines speziellen Wechselrichters wurden in einer quantitativen Analyse die wesentlichen Werkstoff-Gewichtsanteile ermittelt (vgl. Tabelle 11, nach Sauter/Fischer 1998).

Tabelle 11: Werkstoffverteilung in Gewichtsprozent

Fe	37,9 %
Al	22,1 %
Cu	17,1 %
Stahl	14 %
Polymere	5,7 %
Sonstige	1,9 %
Epoxi	1,1 %
Pb	0,1 %
PVC	0,1 %

Um die Schadstoffrelevanz der Wechselrichter bzw. das daraus resultierende Gefährdungspotential zu verringern, bieten sich Strategien wie Schadstoffverbote sowie **Recycling** an. Aus der Befragung ging hervor, dass bereits mehrere Hersteller Aspekte recyclinggerechter Konstruktion beachten, von diesen wiederum auch einige (3 von 13 Antworten) in systematischer Weise nach der VDI-Richtlinie 2243. Einige Firmen gaben auch an, selbst bereits Recycling durchzuführen oder in Rücknahmefällen spezielle Firmen mit der Durchführung zu beauftragen. Bei vielen der Befragten stellte das Problem jedoch noch nicht, da entweder die Produkte noch nicht so lang am Markt sind oder der Absatz in diesem Segment insgesamt bislang zu gering war. Vor einigen Jahren wurde ein spezieller recyclingfähiger Wechselrichter von einer Firma entwickelt, der darüber hinaus noch ökologische Kriterien bei der Materialauswahl (z.B. Biopolymere) berücksichtigte (vgl. Sauter/Fischer 1998).

Die Ergebnisse der Befragung bestätigen die prinzipielle Anwendbarkeit der VDI 2243 für das hier untersuchte Produkt. Angesichts der Tatsache, dass es sich um ein in Bezug auf den Aspekt der recyclinggerechten Konstruktion „normales“ Elektronikprodukt handelt, sollte dementsprechend die Berücksichtigung der VDI-Richtlinie sowie eine **Rücknahmepflicht** gefordert werden. Dies steht auch im Einklang mit der schon seit langem geführten Diskussion um eine Elektronikschrottverordnung und bedeutet darüber hinaus eine Orientierung an den neueren Umweltzeichenanforderungen für (in Bezug auf wesentliche Bauteile und Materialien) vergleichbare elektronische Produkte wie Fernsehgeräte, tragbare Computer, Faxgeräte etc.⁴⁹ Aus der letzten Argumentation leiten sich auch Anforderungen bezüglich einiger Materialien bzw. Inhaltsstoffe ab. Diese sollten im wesentlichen wie bei den vergleichbaren Umweltzeichen das Gehäuse betreffen, welches in der Regel aus stabileren Kunststoffen besteht, die Schadstoffe aufweisen können.

⁴⁹ Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es bei allen genannten Produkten derzeit noch keine Zeichennehmer gibt (RAL 2000). Darüber hinaus handelt es sich bei den genannten Produkten um Märkte mit einer anderen Struktur und in der Regel wenigen, sehr großen Herstellern. Im Markt der Wechselrichter finden sich viele sehr kleine Firmen, deren (finanzieller) Spielraum für umweltzeichengerechte Umstellungen häufig dementsprechend geringer ist.

3.2.3.2 Wirkungsgrade und Effizienz

Für die Solarstromausbeute einer netzgekoppelten Solaranlage - und insofern die energetische und wirtschaftliche Amortisation - ist neben der Beschaffenheit der Module die Qualität des Wechselrichters entscheidend. Dabei sollte die Umwandlung in Netzstrom möglichst geringe Wärmeverluste aufweisen. Die Qualität dieses Umwandlungsprozesses kann durch verschiedene Wirkungsgrade (bei Vollast- bzw. Teillastzuständen) angegeben werden. Darüber hinaus gibt es einige bauteil- bzw. funktionsspezifische (Strom-) Verbrauchsindikatoren, die zusätzliche Verluste und insofern die Effizienz des Gesamtgerätes beschreiben.

Heutige Wechselrichter erreichen in der Regel Umwandlungswirkungsgrade von mehr als 90 %, Spitzengeräte liegen bei über 96 % (vgl. Photon 2000b). Allerdings ist die Aussagefähigkeit des Spitzenwirkungsgrads bei Solarwechselrichtern im Hinblick auf die jährliche Solarstromausbeute ungeeignet. Aufgrund der starken Schwankungen der Solarstrahlung schwankt auch der Leistungsinput des PV-Generators. Daher muss ein Solarwechselrichter bei verschiedenen Leistungen einen guten Wirkungsgrad aufweisen. Insbesondere bei kleinen Leistungen fällt der Wirkungsgrad oft zu schnell ab, wodurch häufig der Eigenverbrauch ansteigt und die geringe Solarstromernte vom Wechselrichter selbst verbraucht wird. Derartige Effekte werden bei der Ermittlung des sog. europäischen Wirkungsgrades (auch: **Euro-wirkungsgrad**) berücksichtigt. Dieser setzt sich aus mehreren gewichteten Teillast-Wirkungsgraden zusammen, die bei verschiedenen Auslastungen ermittelt und entsprechend der Strahlungsverhältnisse bei mitteleuropäischem Klima gewichtet werden.⁵⁰

Bei Wechselrichtern sind zwei grundsätzliche technische Varianten zu unterscheiden: Es gibt sie mit und ohne galvanische Trennung, d.h. mit und ohne Transformator. Ein Transformator sorgt für die nötige Spannungsanpassung für die Einspeisung in das öffentliche Netz. Ohne diesen Trafo muss die Eingangsspannung entsprechend hoch sein. Beide Konzepte weisen technische, ökonomische und sicherheitsbezogene Vor- und Nachteile auf, die sich teilweise aufheben, so dass keine der beiden Varianten eindeutig zu bevorzugen wäre (vgl. hierzu Schmidt 1999). Der Transformator ist jedoch eine wesentliche Quelle für den Eigenverbrauch, weshalb derartige Wechselrichter nicht so hohe Wirkungsgrade wie die traflosen Modelle erreichen. Außerdem erhöht der Trafo das Gewicht, den Materialverbrauch und somit auch den Preis. Die sicherheitstechnischen Vorteile des Trafo-Konzepts müssen beim traflosen Modell durch zusätzliche technische Maßnahmen erzielt werden, welche im Rahmen einer Umweltzeichenvergabe daher zu fordern sind. Mittlerweile wurden technische Lösungen entwickelt, welche die Sicherheit der traflosen Variante verbessern, in dem sie die hohe Eingangsspannung (mit sog. Hochsetzstellern) vermeiden und gleichzeitig den hohen Wirkungsgrad (bis zu 96 %) erhalten (vgl. Welter 2000).

Aus den dargelegten Gründen (sowie der Tatsache, dass beide Typen über alle Leistungsbereiche vertreten sind) wird gefolgert, dass eine Sonderbehandlung in Bezug auf niedrigere Wirkungsgradanforderungen für Modelle mit Trafo aus technischer Sicht nicht gerechtfertigt erscheint, weshalb nachfolgend alle Wechselrichtertypen gleichbehandelt werden.

⁵⁰ Eurowirkungsgrad: $\eta_{\text{EURO}} = 0,03 * \eta_{5\%} + 0,06 * \eta_{10\%} + 0,13 * \eta_{20\%} + 0,1 * \eta_{30\%} + 0,48 * \eta_{50\%} + 0,2 * \eta_{100\%}$.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Eurowirkungsgrade von 113 in Deutschland erhältlichen Wechselrichtern aufgeschlüsselt nach ihrer Nennleistung.⁵¹ Aus den Daten lassen sich Leistungsklassen ableiten, für die jeweils eine Wirkungsgrad-Mindestanforderung gelten soll.⁵²

Die Tabelle 12 gibt die Inhalte der Abbildungen noch einmal in aufbereiteter Form je Klasse wieder:

Tabelle 12: Eurowirkungsgrad - Anforderung und Erfüllung je Leistungsklassen

Leistungsklasse	Anforderung Eurowirkungsgrad	Wird erfüllt von [Anzahl] / [Gesamtzahl] pro Klasse
< 1 kW	≥ 91 %	7 / 13
1 - 3 kW	≥ 92 %	19 / 42
3 - 50 kW	≥ 93 %	21 / 43
> 50 kW	≥ 94 %	7 / 15

Die hier festgelegten Klassen ergeben sich aus der Gesamtschau der derzeit verfügbaren Eurowirkungsgrad-Werte. Die Aufteilung wurde so getroffen, dass die jeweilige Anforderung in allen Klassen von einer hinreichend großen Menge, d.h. von ungefähr der Hälfte der angebotenen Wechselrichter erfüllt werden kann. Darüber hinaus zeigte sich, dass dies auch innerhalb jeder einzelnen Klasse annähernd gleichverteilt der Fall ist.

Neben dem Wirkungsgrad, als dem wichtigsten Indikator, gibt es einige weitere Kenngrößen, die als Anforderungen herangezogen werden können, um die Effizienz der Geräte zu erhöhen. Der **Eigenverbrauch** führt im allgemeinen zur Wärmeerzeugung, welche den Umwandlungsverlust des Gerätes kennzeichnet und ist bereits im Wirkungsgrad enthalten. Daneben spielen jedoch die Stromverbräuche eine besondere Rolle, die zu einem Verbrauch von Netzstrom führen. Diese gilt es aus Effizienzgesichtspunkten zu minimieren bzw. nach Möglichkeit zu eliminieren. Der sog. **Stand-by-Verbrauch** steht für die Stromaufnahme aus dem Netz, wenn der Wechselrichter angeschaltet und zur Einspeisung bereit ist. Wenn es dunkel wird, schalten sich einige Wechselrichter ganz ab, andere weisen jedoch einen **Nachtverbrauch** auf, der z.B. zur Aufrechterhaltung der Betriebsstandsanzeige dient. Diese beiden Verbrauchsarten sollten so gering wie möglich sein, da sie die Solarstromertrag negativ beeinflussen.

Bei der Analyse der Stand-by-Verbräuche der Wechselrichter liegen 6 von 138 Modellen über 1 % der Nennleistung. Oberhalb von 50 kW Nennleistung gibt es nur noch wenige Modelle, die über 0,1 % liegen. Eine weitaus größere Streuung gibt es im Bereich kleinerer Nennleistungen. Eine dem Wirkungsgrad vergleichbare Analyse bestätigte die vorgenommene Einteilung der Klassen auch für den Stand-by-Verbrauch. Auf dieser Basis lassen sich die in Tabelle 13 angegebenen Anforderungen ableiten.

⁵¹ Die Daten stammen aus einer Erhebung der Zeitschrift Photon, bei der jedoch nicht alle der dort aufgeführten 133 Wechselrichter den Eurowirkungsgrad aufgeführt hatten (Photon 1999b und 2000b).

⁵² In der Abbildung sind nicht alle Werte zu sehen, da einige übereinander liegen.

Abbildung 4: Eurowirkungsgrad: Verteilung und Mindestanforderung

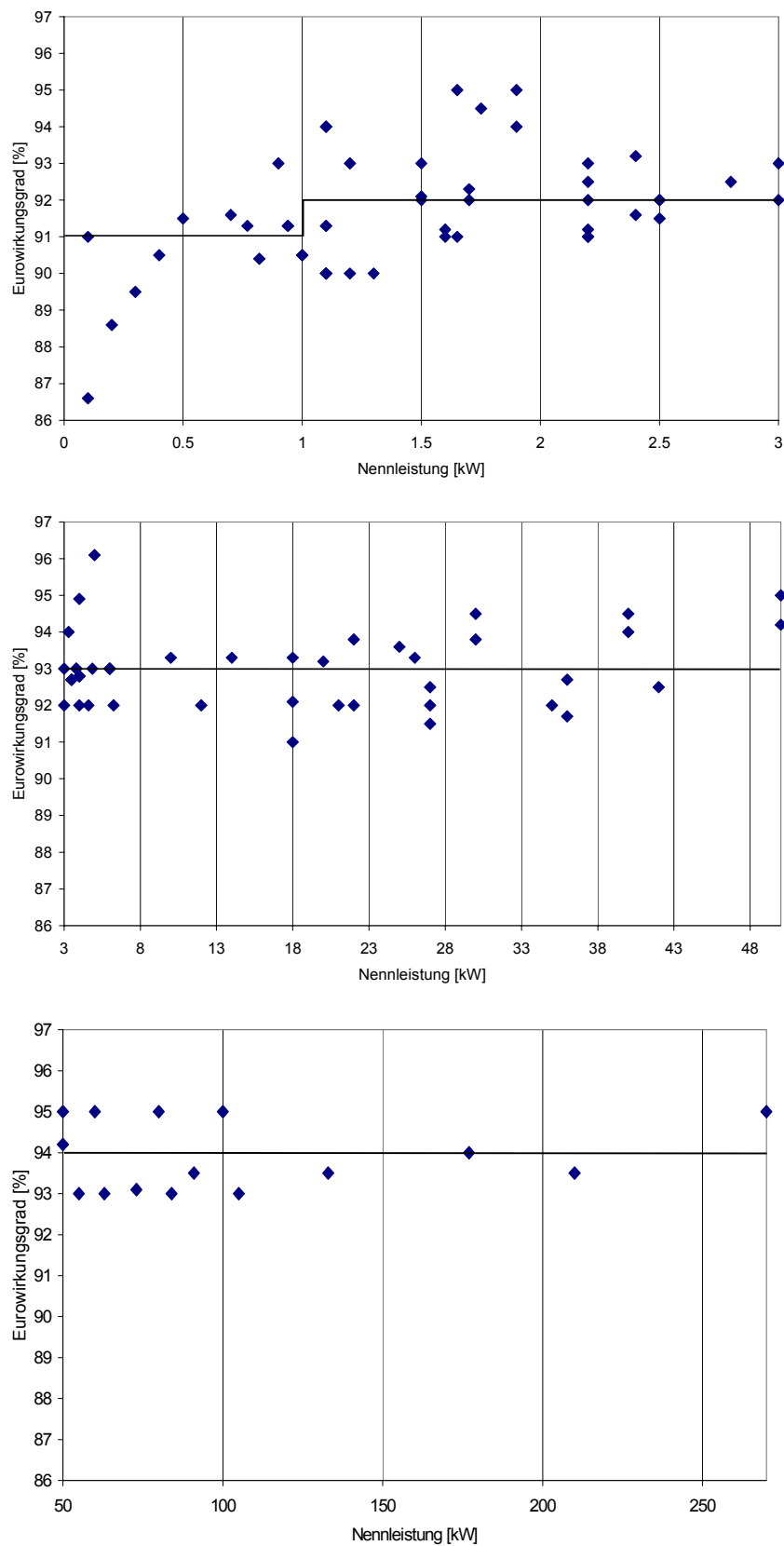


Tabelle 13: Stand-by-Verbrauch - Anforderung und Erfüllung je Leistungsklassen

Leistungsklasse	Anforderung an Stand-by-Verbrauch (in % der Nennleistung)	Wird erfüllt von [Anzahl] / [Gesamtzahl] pro Klasse
0 - 3 kW	$\leq 0,5 \%$	40 / 54 (74 %)
3 - 50 kW	$\leq 0,3 \%$	36 / 43 (84 %)
> 50 kW	$\leq 0,1 \%$	11 / 15 (73 %)

Die eher großzügige Festlegung der Anforderungsgrenze ergibt sich aus der Tatsache, dass dieser Kennwert nicht die Bedeutung aufweist wie der Wirkungsgrad und die Zeitdauer des Stand-by-Zustands und insofern die konkreten Verbräuche als vergleichsweise gering angesehen werden können.

Von 136 Wechselrichtern weist die Hälfte (68 Modelle) keinen **Nachtverbrauch** auf. Dies findet sich nicht nur in den kleinen Leistungsbereichen, sondern in etwa gleichverteilt über alle Leistungsklassen bis etwa 100 kW. Bei den Modellen, die einen Nachtverbrauch haben, kommt dieser in keinem Fall über einen Wert von 0,5 % der Nennleistung hinaus. 14 der Wechselrichter liegen über 0,1 %, 58 über 0,01 % (vgl. auch Tabelle 14). Geräte mit höherer Nennleistung weisen tendenziell höhere Nachtverbräuche auf, wobei

Tabelle 14: Nachtverbrauch

Nachtverbrauch (in % der Nennleistung)	Wird erfüllt von [Anzahl] / [Gesamtzahl]
0	68 / 136 (50 %)
$\leq 0,01 \%$	18 / 68 (27 %)
$\leq 0,02 \%$	21 / 68 (31 %)
$\leq 0,03 \%$	40 / 68 (59 %)
$\leq 0,04 \%$	44 / 68 (65 %)
$\leq 0,05 \%$	45 / 68 (66 %) [83 %]
$\leq 0,1 \%$	54 / 68 (79 %)

hier andererseits auch einige Geräte sehr niedrige Quoten aufweisen. Aus technischer Sicht wird keine Notwendigkeit für einen überproportionalen Anstieg des Nachtverbrauchs bei steigender Nennleistung gesehen. Daher wird empfohlen, dass alle Modelle - ohne leistungsbezogene Unterschiede - in Bezug auf den Nachtverbrauch einen **Maximalwert von 0,05 % der Nennleistung** nicht überschreiten dürfen. Dieses wird von 66 % der Geräte, die einen Nachtstromverbrauch aufweisen, eingehalten, bezogen auf die Gesamtzahl der untersuchten Wechselrichter sind dies sogar 83 %. Mit der Zulässigkeit eines Nachtverbrauchs wird der Argumentation gefolgt, dass es dem Nutzer möglich sein sollte, auch in den Abendstunden (nach Feierabend) die Früchte seiner PV-Anlage ablesen zu können - allerdings mit möglichst wenig Energieverbrauch.

Als weiterer Effizienzaspekt ist die **Einspeiseleistung** zu nennen. Dies ist die Leistung, die der Solargenerator mindestens erzeugen muss, damit der Wechselrichter anfangen kann zu arbeiten. Dieser Wert sollte möglichst niedrig sein, damit die Anlage so früh und so lange wie möglich einspeist und ein maximaler Solarstromertrag gewährleistet werden kann. Der höchste ermittelte Wert lag bei über 3 %, der niedrigste bei 0,04 %, Durchschnitt und Median liegen bei etwa 0,7 % der Nennleistung. Insgesamt liegen nur wenige Geräte über 1 % der Nennleistung (26 von 132). Eine leistungsbezogene Abhängigkeit konnte weder faktisch ermittelt noch kann sie technisch begründet werden. Daher sollte für alle Geräte die **Einspeiseleistung nicht über einem Prozent der Nennleistung** liegen.

In der Gesamtschau aller bisherigen Kriterien (Wirkungsgrad und Effizienzkriterien) zeigt sich, dass diese von insgesamt 40 % der Wechselrichtermodelle annähernd gleichverteilt über alle Leistungsbe-
reiche erfüllt werden können, wobei sich diese Quote aus 44 von 111 vollständigen Datensätzen ergibt. Diese potentiellen Umweltzeichengeräte verteilen sich auf 15 (von 26) verschiedene Hersteller. Eine Verschärfung der Anforderung für den Nachtverbrauch auf 0,01 % der Nennleistung wird immerhin noch von 34 Modellen (31 %) von 13 Herstellern eingehalten.

Tabelle 15: Einspeiseleistung

Einspeiseleistung (in % der Nennleistung)	Datenauswertung
3 %	Maximalwert
0,04 %	Minimalwert
0,7 %	Durchschnitt / Median
≤ 1 %	106 / 132 (80 %)

3.2.3.3 Produktqualität und Lebensdauer

Aufgrund der langen Lebensdauer von Modulen sollte auch eine dementsprechend hohe **Lebensdauer** für Wechselrichter angestrebt werden. Die befragten Hersteller gaben diesbezüglich Zeiträume zwischen 10 und 25, in einem Fall sogar von 100 Jahren an. Die häufigste Nennung liegt bei 20 Jahren, dem Zeitraum, der auch für die Module in der Regel angesetzt wird. Erfahrungen aus der Praxis sowie die Einschätzung von Experten zeigen jedoch, dass Wechselrichter in der Regel nicht die Lebensdauer von Modulen erreichen (vgl. Sauter/Fischer 1998).

Aus der Befragung der Hersteller ging aus der Frage nach Ausfallursachen der Geräte hervor, dass es sich in der Regel um elektronische Bauteile handelt: am häufigsten genannt wurden Relais oder Kondensatoren. In den allermeisten Fällen ist bei derartigen Fehlern eine Instandsetzung ohne Probleme möglich. Daher ist die **Reparaturfähigkeit** von Wechselrichtern inklusive einer Ersatzteilgewährleistung zu fordern. Die konstruktiv-technische Reparatureignung des Gerätes wurde bereits unter dem Aspekt der recyclinggerechten Konstruktion behandelt. In Bezug auf die Ersatzteilgewährleistung gaben die Hersteller im Rahmen der Befragung Zeiträume von 2-10, in einem Fall bis 15 Jahren an. Aus dem Vergleich zu Gewährleistungszeiträumen bei anderen Umweltzeichen (z.B. für Drucker, Fernseher, Waschmaschinen), die in Relation zur Lebensdauer dieser Geräte festgelegt wurden, sollte für die **Ersatzteilversorgung** von Wechselrichtern ein Mindestwert von **7 Jahren ab Produktionseinstellung** gefordert werden.

Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Sicherstellung einer Mindest-Produktqualität ist das Instrument der **Herstellergarantie**. Wie beim Modul, so gilt auch beim Wechselrichter, dass ein Jahr das zeitliche Minimum darstellt, da das Gerät alle Betriebszustände mindestens einmal durchlaufen haben sollte. Die meisten Hersteller geben 2 Jahre Garantie, viele optional (gegen Aufpreis) bis zu 5, 10 oder 20 Jahren. Die normale Garantiegewährung liegt jedoch nur in wenigen Einzelfällen bei 3 oder einmal bei 10 Jahren (Daten aus Photon 2000b). Die Garantieleistung sollte somit **mindestens 2 Jahre** betragen.

3.2.3.4 Richtlinienkonformität und Produktsicherheit

Als leistungselektronische Komponente ist der Wechselrichter **CE-kennzeichnungspflichtig** (vgl. Schattner et al. 1999). Dies resultiert sowohl aus der EU-Richtlinie für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV, Umsetzung im **EMVG**) als auch aus der Niederspannungsrichtlinie, die, wenn ein Gerät in ihren Geltungsbereich fällt, die CE-Kennzeichnungspflicht beinhalten. Der Anspruch an die Richtlinienkonformität von Wechselrichtern wird damit zu einer grundlegenden Anforderung für das Umweltzeichen.

Wechselrichter müssen darüber hinaus VDEW-Konformität aufweisen, d.h. mit den Richtlinien der Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke übereinstimmen. Ohne diese Konformität ist der Betrieb nicht zulässig - dennoch gibt es einige Anbieter, die diese Konformität (noch?) nicht aufweisen (vgl. Photon 2000b). Daher ist auch die VDEW-Konformität als grundlegende Anforderung zu stellen.

Bei traflosen Geräten treten besonders hohe eingangsseitige Spannungen auf, die eine Gefahr für die **Sicherheit von Personen** darstellen können. Aus diesem Grund weisen die meisten traflosen Geräte einen allstromsensitiven Fehlerstromschutzschalter (**FI-Schalter**) auf, der diesen Schutz sowohl gleichstrom- als auch wechselstromseitig gewährleistet. Mit dieser Forderung wird auch einem Normentwurf (Entwurf DIN VDE 0126: 1999-04) entsprochen, der bislang den Status eines sog. ermächtigten Normentwurfs aufweist. In diesem Entwurf wird darüber hinaus die Überwachung von netzseitigen anomalen Betriebszuständen durch eine spezielle Einrichtung zur Netzüberwachung (sog. **ENS**) behandelt. Diese Einrichtung zur Netzüberwachung betrifft alle Wechselrichtertypen. Während ENS in Deutschland weit verbreitet ist, stößt es in vielen europäischen Ländern auf Widerstand, da dort andere Netzbedingungen vorliegen und sich insofern die einheitliche Festlegung von Kenngrößen für das ENS derzeit noch als problematisch erweist. Aus diesem Grund ist gegenwärtig noch unklar, wann und ob überhaupt ein überarbeiteter Normentwurf zur DIN VDE 0126 verabschiedet wird (vgl. Schmidt 1999, Welter 2000). Dennoch wird vorgeschlagen, für das deutsche Umweltzeichen die Sicherheit des Produktes bzw. der Auswirkungen des Produktes sowohl generatorseitig als auch netzseitig und damit sowohl einen FI-Schalter als auch eine Einrichtung zur Netzüberwachung zu fordern.

4 Fachgespräch - Expertendiskurs über mögliche Anforderungen

Gemäß der Anforderungen der ISO 14024 wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie ein Fachgespräch mit relevanten Interessenvertretern der ausgewählten Produktgruppen veranstaltet, welches von den Forschungsnehmern in Kooperation mit dem Umweltbundesamt durchgeführt wurde.⁵³ In diesem Fachgespräch wurden die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie präsentiert und die potentiellen Anforderungen für die produktgruppenspezifischen Umweltzeichen - die aus den Ergebnissen der Umweltrelevanzanalyse abgeleitet und den Teilnehmern vorab als Vergabegrundlagen-Entwürfe zur Verfügung gestellt wurden - zur Diskussion gestellt. Die wesentlichen inhaltlichen Diskussionslinien und Ergebnisse dieses Fachgesprächs, die letztlich auch zu Modifikationen der Anforderungsentwürfe geführt haben, werden nachfolgend wiedergegeben.

4.1 Diskussion über Anforderungen an PV-Produkte mit Speicher

4.1.1 Gesamtproduktbezogene Aspekte

Zunächst wurde über die Art und die Begrenzung der Auswahl der Produkte diskutiert. Es wurde eine möglichst breite Fassung des Geltungsbereichs, d.h. die Einbeziehung von mehr Produkten gefordert. Hierzu führten die Bearbeiter der Untersuchung an, dass die Produkte und ihre Funktionen (bzw. „Dienstleistungen“) z.T. sehr unterschiedlich sind, was beispielsweise in Bezug auf Qualität und Funktionssicherheit eine große Rolle spielt und insofern eine produktspezifische Betrachtung erfordert. Daher wurden nur einige Produkte auf der Basis der dargelegten Kriterien (vgl. Abschnitt zur Produktauswahl) für die Untersuchung ausgewählt. Es bestand jedoch Konsens in der Forderung, eine möglichst schnelle und unkomplizierte Erweiterungsmöglichkeit des Geltungsbereichs auf weitere Produktgruppen anzustreben.

Es wurde angeregt, nach Möglichkeit die relevanten produktspezifischen Richtlinien explizit in der Vergabegrundlage aufzuführen. Hierzu ist seitens der Bearbeiter anzumerken, dass es keine allgemeinen Richtlinien für die hier behandelten PV-Produkte mit Speicher gibt, sondern hier eine Vielfalt verschiedener Richtlinien für die unterschiedlichen Produkte und Produktkomponenten relevant ist, die sich teilweise sogar innerhalb der Produktgruppen unterscheiden. Als Beispiel sei hier die Armbanduhr angeführt, für die in der Ausführung als „Funkuhr“ andere bzw. zusätzliche Richtlinien gelten. Daher ist es aus der Sicht der Bearbeiter als pragmatisch anzusehen - auch im Hinblick auf eine unkomplizierte Erweiterung des Geltungsbereichs - den Nachweis der Richtlinienkonformität und der Berechtigung zum Führen des CE-Zeichens auf der Basis einer allgemeinen Formulierung zu fordern.

⁵³ Das Fachgespräch fand am 27.09.2000 beim Umweltbundesamt in Berlin-Spandau statt. Die Liste der Teilnehmer sowie die Tagesordnung befindet sich im Anhang.

Als Anforderung an eine Mindestgarantiegewährung seitens der Hersteller auf alle Komponenten schlagen die Teilnehmer - auch angesichts der bevorstehenden EU-Richtlinie - einen Zeitraum von 2 Jahren vor.

4.1.2 Speicherbezogene Aspekte

In Bezug auf ein Verbot cadmiumhaltiger Batterien wies ein Vertreter der Batteriehersteller auf einen prozessbedingten minimalen Cadmiumgehalt hin, der i.d.R. bei ca. 0,001 Gewichtsprozent bzw. 10 ppm liegt - und damit doppelt so hoch als im derzeitigen Entwurf der Neufassung der EU-Batterierichtlinie. Die Bearbeiter empfehlen, den aus der Praxis vorgeschlagenen Wert für die Anforderungen zunächst zu übernehmen, die weiteren Entwicklungen der Überarbeitung der Batterie-Richtlinie jedoch zu beachten und einen derartigen Hinweis auch explizit in den Anforderungstext aufzunehmen.

Zur Erhaltung der Lebensdauer kann eine Ladeelektronik wichtig sein; es wurde jedoch angeregt, die explizite und ausschließliche Forderung nach einer Ladeelektronik fallen zu lassen, da diese bei entsprechender Auslegung des PV-Systems in einigen Anwendungsbereichen nicht notwendig sei. Als alternative Formulierung wurde vorgeschlagen, lediglich einen geeigneten Schutz gegen Überladen oder Tiefentladen der Batterie wahlweise durch eine geeignete Abstimmung der Komponenten oder eine Ladeelektronik zu fordern.

In Bezug auf den Aspekt der Auswechselbarkeit der Batterie wurde angemerkt, dass dies durch den Kunden „mit haushaltsüblichen Mitteln“ möglich sein sollte.

4.1.3 Materialanforderungen

Mit dem prinzipiellen Ausschluss cadmierter Teile entsteht auch hier das Problem des Umgangs mit prozessbedingten Verunreinigungen. Entscheidender ist jedoch die Tatsache, dass eine derartiger Ausschluss auch die neuen Dünnschichttechnologien CdTe sowie CIS, die ebenfalls Cadmium enthalten, betreffen würde, und damit Technologien, die - hierauf wiesen die anwesenden Hersteller hin - in besonderem Maße auch für Produktanwendungen geplant sind. Da die Produkte jedoch (derzeit) in der Regel in den Hausmüll gelangen, sollten schadstoffhaltige Solarzellentypen aus der Sicht der Bearbeiter bevorzugt in eher kreislaufgeeigneten Anwendungen eingesetzt werden (Solaranlagen), weshalb bezüglich des Cadmiumgehalts zumindest für die „Gleichbehandlung“ aller Produktkomponenten entsprechend der Anforderungen für die Batterien (Verbot eines Cadmiumgehalts von >0,001 Gewichtsprozent) plädiert wird.

4.1.4 Funktionssicherheit

In Bezug auf die Anforderungen für Armbanduhren wurde die geforderte Mindest-Lichtmenge, bei der die volle Funktion zu gewährleisten ist, als zu niedrig angesehen, um ein breiteres Angebot an verschiedenen Uhren zu erfassen. Vorgeschlagen wurden Werte ab 1800 Luxh/Tag, da ab diesem Wert auch besonders gestaltete und bedruckte Uhren erfasst

werden könnten. Als Gangreserve wurde ein geringerer Wert von ca. 60 Tagen als sinnvoll und ausreichend angesehen.

Bei den Gartenleuchten wurden die unterschiedlichen Funktionen (z.B. Funktions- vs. Dekorationsleuchten) diskutiert. Hier wurde angeregt, u.U. eine Eingrenzung des Funktionsbereichs von Gartenleuchten derart vorzunehmen, dass nur Leuchten mit zu definierenden Mindestleuchtdauern (Vorgeschlagen wurden 4 Stunden) das Umweltzeichen erhalten.

Für die bei Outdoor-Produkten geforderten Simulationen wurde vereinbart, die Wetterdaten eines norddeutschen Standortes genau festzulegen (Vorschlag: Testreferenzjahr Hamburg). Die Qualität und Vergleichbarkeit der geforderten Simulationsergebnisse wurde allgemein kritisch diskutiert. Dabei wurde einerseits das Problem geeigneter Qualitätsnachweise aufgegriffen und diesbezüglich Simulationen als machbarer Schritt in die richtige Richtung eingestuft, andererseits wurde die Genauigkeit von Simulationsergebnissen angezweifelt und ihre Manipulierbarkeit befürchtet. Als mögliche Lösung wurde die Prüfung durch eine unabhängige Institution diskutiert, was jedoch einen zusätzlichen Kostenfaktor und Standardisierungsbedarf bedeutet. Die Bearbeiter empfehlen, zunächst die Anforderung eines Simulationsnachweises, der jedoch auch durch den Hersteller selbst erbracht werden kann, zu formulieren, um keine zu großen Hürden für potentielle Zeichennehmer zu schaffen und erste Erfahrungen mit diesem - aus Sicht der Umweltzeichenvergabe - neuen Kriterien-Instrument machen zu können.

4.2 Diskussion über Anforderungen an PV-Module

4.2.1 Geltungsbereich und Garantie

Auch bei den Modulen wurde zunächst die Festlegung des Geltungsbereichs, in diesem Fall die generelle Ausklammerung von Dünnschichtmodulen kritisiert. Zentraler Kritikpunkt war dabei die vergleichsweise umweltfreundliche Produktion der Dünnschichttechnologie, da Material und Energie bei der Produktion eingespart würde, was zu einer schnelleren energetischen Amortisation führe. Die Forschungsnehmer begründeten die inhaltliche Ausklammerung der Dünnschichttechnologie⁵⁴ und verwiesen auf die Forschungslücken in Bezug auf die Umweltbewertung verschiedener Modultypen sowie die pragmatischen Schwierigkeiten bzgl. geeigneter Nachweis- und Prüfverfahren im Falle von Anforderungen, die sich beispielsweise auf die Energiebilanz von Modulen beziehen würden. Die Diskussion wurde z.T. im Zusammenhang mit den Anforderungen an den Wirkungsgrad weitergeführt.

In Bezug auf die allgemeine Produktgarantiegewährung wurde auch hier die Erhöhung auf 2 Jahre angeregt. Bezüglich einer Leistungsgarantie wurde von der (wettbewerbsbedingten) Problematik stetig steigender Garantiezeiten berichtet, denen jedoch i.d.R. Nachweisbedin-

⁵⁴ Die amorphen Silizium-Dünnschichtmodule weisen primär andere, vergleichsweise kleine Anwendungsgebiete auf, für die andere Anforderungen gelten; neuere Dünnschichttechnologien sind noch nicht bzw. noch nicht verbreitet am Markt erhältlich, so dass sie in Ermangelung an Daten noch nicht in den Untersuchungsbereich aufgenommen werden konnten (vgl. hierzu auch den Abschnitt zu Marktanalyse und Produktauswahl).

gungen z.B. auf der Basis von Messungen gegenüberstehen, die von den Kunden nicht oder nur mit hohem (Kosten-)Aufwand bewerkstelligt werden können. Geeignete, praxistaugliche und in Bezug auf potentielle Kosten vertretbare Maßnahmen zur Unterstützung der Kunden bei derartigen Leistungsgarantiefällen konnten seitens der Hersteller nicht identifiziert werden; es wurde eher angeregt, ersatzlos auf Anforderungen zur Leistungsgarantie zu verzichten, um diese „sinnlose Wettbewerbsspirale nicht weiter anzuheizen“. Die Bearbeiter schlagen vor, den in der Branche üblichen und „realistischeren“ Zeitraum von 10 Jahren auf 90% der Nennleistung als Anforderung zu wählen.

4.2.2 Rücknahme und Materialanforderungen

Die Anforderung zur Rücknahme und die Aufforderung zum Recycling wurde einhellig begrüßt. Allerdings wurde darauf hingewiesen, dass derzeit noch keine derartigen Aktivitäten jenseits von einzelnen F+E-Vorhaben existieren. In diesem Zusammenhang wurde seitens der Teilnehmer auch der Wunsch nach finanzieller Unterstützung in Bezug auf weitere Forschung und beim Aufbau von Netzwerkstrukturen geäußert.

In Bezug auf die Materialanforderung, halogenhaltige Polymere als Ausnahme nur für die Rückseitenfolie der Module zuzulassen, wurde darauf hingewiesen, dass es in speziellen Anwendungen auch beschichtete Oberseiten sowie beidseitig beschichtete (flexible) Module gibt. Diese betreffen jedoch nicht den in diesem Kontext im Vordergrund stehenden Standardfall des netzgekoppelten Dachmoduls, weswegen eine Abweichung der bisherigen Ausnahmeregel mehrheitlich kritisch kommentiert bzw. abgelehnt wurde.

4.2.3 Leistungsindikatoren

Die Diskussion um den Modulwirkungsgrad war eng verknüpft mit der Grundsatzfrage zur generellen Eignung eines Umweltzeichens für die Photovoltaik. Kritisiert wurde, dass der Wirkungsgrad allein nichts über den Ertrag (bzw. Jahreswirkungsgrad) und die eigentliche Umweltrelevanz des Moduls aussagen würde. Auch Module mit geringen Wirkungsgraden können als umweltfreundlich angesehen werden, wenn sie eine positive Energiebilanz aufweisen. Darüber hinaus führen höhere Wirkungsgrade zu höheren Produktionskosten, was wiederum ein Verbreitungshemmnis ist. In diesem Zusammenhang wurden seitens einiger Teilnehmer andere, wünschenswerte Indikatoren wie Jahresertrag, Performance Ratio, Energie-(Umwelt-)bilanz oder Amortisationsdauer genannt - für die allerdings derzeit keine geeigneten Nachweismöglichkeiten zur Verfügung stehen. Hier ist zudem der Prüfaufwand seitens der Hersteller zu beachten. Insgesamt machten die Hersteller deutlich, dass bei einer Fokussierung auf den Aspekt des Wirkungsgrades die Verbindung zur Umweltrelevanz der Technologie nicht gewährleistet wäre und außerdem eine für die Branche schädliche Diskussion befürchtet wird.

Die vorgeschlagene Leistungstoleranz wurde begrüßt. Es wurde ergänzend angeregt, die modulspezifische Nennleistung, bzw. die Nennspannung und den Nennstrom, die wichtige und sinnvolle Informationen bei der Installation darstellen, direkt auf dem Modul anzugeben.

4.3 Diskussion über Anforderungen an PV-Wechselrichter

4.3.1 Langlebigkeit und Schadstoffrelevanz

In Bezug auf die Reparatursicherheit wurde angeregt, die Ersatzteilversorgung nach Produktionsende auf einen Zeitraum von 10 Jahren festzulegen.

Die Anforderungen zu Rücknahme und Recycling wurden prinzipiell unterstützt; von einigen Teilnehmern wurde sogar darüber hinaus eine Pfandregelung vorgeschlagen, um die Rückgabequote der Kunden zu steigern; dieser Vorschlag wurde jedoch nicht weiter verfolgt.

Auch bezüglich der Materialanforderungen wurden mögliche strengere Kriterien diskutiert. Zum einen ging es dabei um den Einsatz von bleifreiem Lot, zum anderen um den Verzicht von cadmierten Schrauben. Erstere Forderung wurde allgemein unterstützt, da hier auch bereits anderweitige Bestrebungen seitens der Gesetzgeber, aber auch einiger Unternehmen vorhanden sind; letzterer Punkt wurde als für die Wechselrichter nicht relevant eingestuft.

4.3.2 Leistungsindikatoren

Trotz der gängigen Praxis der Angabe des Eurowirkungsgrades durch die Hersteller wurden Fragen nach der Herkunft der Formel sowie die Messbedingungen und -probleme diskutiert. In Bezug auf die Messbedingungen wurde eine entsprechende Definition von Parametern gefordert; in Bezug auf die Messprobleme auf die technisch bedingten Fehler hingewiesen, die in Größenordnungen von $\pm 2\%$ liegen können und die das Gewicht einer Wirkungsgrad-Anforderung auch im Bereich der Wechselrichter relativieren, jedoch nicht in dem Maße, wie dies bei den Modulen der Fall ist.

Einige Teilnehmer wiesen darüber hinaus auf das Problemfeld der elektromagnetischen Verträglichkeit und des Elektrosmog hin. Die Forschungsnehmer verwiesen einerseits auf die als Voraussetzung geforderte Einhaltung der EMV (Richtlinienkonformität) sowie den Forschungsbedarf und die Nachweisprobleme im Bereich Elektrosmog, der zudem hauptsächlich durch die gesamte Anlage und nicht nur durch die Einzelkomponente Wechselrichter entsteht (vgl. hierzu auch Bopp et al. 1999).

5 Fazit und Empfehlungen

Im Verlauf der Untersuchung und insbesondere im Fachgespräch offenbarten sich einige grundsätzliche Probleme bei der Bestimmung von Anforderungen für ein Umweltzeichen für photovoltaische Produkte und Anlagen. Eine wesentliche Schwierigkeit eines Umweltzeichens für den Bereich Photovoltaik(-Anlagen) liegt in der Tatsache begründet, dass die eigentliche Vergleichsebene die der Energieerzeugung ist, und insofern ein Vergleich zwischen verschiedenen Energieerzeugungsanlagen von vielen Experten und auch im Fachgespräch gefordert bzw. als wünschenswert angesehen wurde. Ein Umweltzeichen für photovoltaische Komponenten muss sich also daran messen lassen, einerseits die Photovoltaik zu fördern - d.h. nicht zu restriktive Anforderungen aufzuweisen - und andererseits einen sinnvollen Beitrag zur Verbesserung der Produkte zu leisten.

Ein Umweltzeichen für PV-Geräte mit Speichermedien kann einen sinnvollen Beitrag zur Verbesserung leisten; dies wurde auch von den Experten und Herstellern im Rahmen des Fachgesprächs betont. Dies gilt insbesondere deshalb, weil es bei derartigen Geräten notwendig erscheint, eine Mindestqualität sicherzustellen, um ein negatives Image für die Solartechnik zu vermeiden. Aus diesem Kontext heraus wurde die Anforderung entwickelt, einen Nachweis der Funktionssicherheit von PV-Produkten mit Speichern mittels rechnergestützter Simulationen zu erbringen. Das Instrument der Simulation wird als ein neuer Indikator vorgeschlagen, der als geeignet (und erforderlich) erscheint, perspektivisch zur Verbesserung der Produktqualität beizutragen. Eine letztliche Sicherheit kann jedoch auch mit Simulationen nicht gewährt werden. Um die Hemmnisse und Kosten für die zumeist kleineren potentiellen Zeichennehmer-Firmen in einem kalkulierbaren Rahmen zu halten, wurden neben den Anforderungen, die bezüglich der Durchführung der Simulation gestellt wurden, auch einige pragmatische Freiheitsgrade formuliert. Diese beziehen sich beispielsweise auf die freie Auswahl eines Programms oder die Möglichkeit, die Simulation auch selbst durchzuführen zu können. Neben der Anforderung an die Funktionssicherheit zur Erhöhung der Qualität nimmt der Ausschluss von cadmiumhaltigen Batterien und weiteren Schadstoffen in anderen Produktteilen den zentralen Schwerpunkt ein. Zusätzlich wurden Kriterien bezüglich der Auswechselbarkeit der Batterie, einer Herstellergarantie auf die Erfüllung der angegebenen Funktionen, für den Nachweis von Schutzfunktionen beim Be- und Entladen der Batterie sowie die Verpflichtung zur Angabe von Entsorgungshinweisen formuliert. Als mögliche Umschrift eines Zeichens für photovoltaische Produkte (bzw. Geräte) mit Speichermedien wird empfohlen: „Umweltzeichen ... weil solarbetrieben und schadstoffarm“.

Ein Umweltzeichen für Solar-Wechselrichter wurde ebenfalls überwiegend befürwortet und die im Fachgespräch präsentierten Kriterienvorschläge als sinnvoll und erfüllbar eingestuft. Diesbezügliche Einschränkungen, die sich im wesentlichen auf die Messproblematik des Eurowirkungsgrades bezogen, wurden dadurch entschärft, dass nun im Rahmen der Anforderungen auf die Vorgaben der aktuellen Norm IEC 61683 zurückgegriffen wird. Die Energieeffizienz des Gerätes - und damit Anforderungen an den Wirkungsgrad, den Stand-by- und Nachtverbrauch sowie die Einspeiseleistung - nimmt einen zentralen Schwerpunkt des Kriterienentwurfs ein. Daneben sind Anforderungen an die Recyclingfähigkeit der Geräte

nach VDI 2243 formuliert, die ergänzt werden durch eine Rücknahmeverpflichtung, die Gewährung von Reparatursicherheit, eine längere Herstellergarantie, die Gewährung der Produktsicherheit sowie einige schadstoffbezogene Anforderungen an die eingesetzten Materialien. Den obigen Ausführungen entsprechend wird somit als Umschrift für ein Umweltzeichen für PV-Wechselrichter vorgeschlagen: „... weil energieeffizient und recyclingfähig“.

Die größten Schwierigkeiten in Bezug auf die Einführung eines Umweltzeichens im Bereich der Photovoltaik ergeben sich jedoch bei der Formulierung von Anforderungen für das „Herzstück“ von PV-Anlagen, das PV-Modul. Dies zeigte sich besonders deutlich anhand der lebhaften Diskussion im Rahmen des Fachgesprächs um die Anforderung an Mindest-Wirkungsgrade - eine Diskussion, die es in ähnlicher Form bereits im Zusammenhang mit dem Umweltzeichen für Solarkollektoren (RAL-UZ 73) gab. Der Wirkungsgrad ist in der Tat nicht die entscheidende Größe für den Ertrag und die Umweltrelevanz von Solaranlagen - hier sind eher die Gesamtanlage, die Installationsdienstleistung, die Produktionsbedingungen etc. (aber auch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen) entscheidende ökologische Einflussfaktoren bzw. Betrachtungsebenen. Daher kann die Heraushebung des Wirkungsgrades als der zentrale Indikator nicht empfohlen werden. Die Beibehaltung einer derartigen Anforderung als eine untergeordnete Nebenbedingung wird als nicht sinnvoll erachtet, weshalb daher vollständig auf Anforderungen bezüglich der Einhaltung eines Mindest-Wirkungsgrades verzichtet werden sollte. Im Zusammenhang mit dem Modulwirkungsgrad sollte jedoch eine Anforderung bezüglich seiner Angabe bei verschiedenen Bestrahlungsstärken erhoben werden.

Beim Verzicht auf das ursprünglich angedachte Hauptkriterium „Wirkungsgrad“ verschiebt sich das Profil des Anforderungskatalogs deutlich. Als weitere relevante Kriterien verbleiben jedoch Rücknahme-, Material- sowie Qualitätsanforderungen. Die Materialanforderungen sollten aufgrund der technisch bedingten Ausnahmeregelung (Fluorpolymer als Rückseitenfolie) nicht als das zentrale Kriterium („schadstoffarm“) hervorgehoben werden. Der Aspekt der Rücknahme unterstützt den Aufbau der noch nicht vorhandenen Recyclingstrukturen, weshalb hierin durchaus eine hervorzuhebende Initiativwirkung gesehen werden kann. Eine derartige Hervorhebung in der Umschrift gibt es bereits ebenfalls beim Umweltzeichen RAL-UZ 86 (Cassetten mit Rücknahme und Verwertung). Die formulierten Qualitätsanforderungen beziehen sich primär auf die Begrenzung der Leistungstoleranz, eine Größe, die sowohl wichtig für die Information der Kunden und Installateure ist, als auch letztlich den Energieertrag beeinflusst, da sie den Schwankungsbereich der tatsächlichen Modulleistung angibt. Daher wird empfohlen, die Umschrift eines Umweltzeichens für PV-Module mit „... weil Rücknahme und geringe Leistungstoleranz“ zu benennen (Möglicherweise sollte der Begriff der Leistungstoleranz durch eine umgangssprachlichere Formulierung ersetzt werden.).

Ein derartiges Umweltzeichen fokussiert damit den Kreislaufgedanken und die Qualität der Module, zwei aus ökologischer Sicht wichtige und (stark) verbesserungswürdige Aspekte. Allerdings muss auch betont werden, dass mit einem derartigen Anforderungsdesign für ein Umweltzeichen für Module zwar einige sinnvolle Aspekte verbessert oder angeregt werden können, die getroffene Wahl der Kriterien jedoch zu einer für die Vergabe des Umweltzeichens eher ungewöhnlich hohen Quote an Zeichennehmern führen kann - und aus Gründen der unbestreitbaren ökologischen Vorteilhaftigkeit der Photovoltaik (im Bereich der Energieerzeugung) auch führen sollte. Damit ist seitens der Vergabeinstitutionen jedoch zu prüfen,

ob ein Umweltzeichen das geeignete Instrument zur Förderung und Verbesserung der Photovoltaik ist bzw. ob eine derartige „Auslobung“ des Umweltzeichens seiner eigentlichen Intention entspricht. Sollte jedoch ein Umweltzeichen für Module nicht vergeben werden, dann wäre ein Umweltzeichen für den Wechselrichter ebenfalls in Frage zu stellen, da eine einseitige Vergabe eher für Verwirrung in der Solarbranche und bei den Kunden führen würde.

Dieser Aspekt verweist noch einmal auf die grundsätzliche Problematik der Bewertung der einzelnen Anlagenkomponenten (Module und Wechselrichter), da im Grunde die gesamte Anlage zu bewerten wäre. Viele Schwierigkeiten, die bei der Formulierung der Anforderungen für die Einzelkomponenten auftraten, sind darauf zurückzuführen, dass der Kontext der Gesamtanlage nicht berücksichtigt werden konnte. Um die Qualität (und Umweltfreundlichkeit) der Gesamtanlage zu bewerten, müsste die Installationsdienstleistung in den Blick genommen werden. Hier wären die Indikatoren eher an der Gesamtanlage und am Ergebnis als an den Einzelkomponenten orientiert. Ein derartiges Bewertungskonzept der Installationsdienstleistung war nicht Gegenstand dieser Untersuchung - es wurde bewusst ausgeklammert, da in Bezug auf die Bewertungsmöglichkeiten im Rahmen eines Umweltzeichens zu viele Problembereiche identifiziert wurden. An dieser Stelle sei nur auf die Mess-, Vergleichs- und Definitionsschwierigkeiten in Bezug auf z.B. den Anlagenwirkungsgrad oder den Jahresertrag von Solaranlagen hingewiesen, die diesbezüglichen Diskussionen laufen in den Fachkreisen seit einigen Jahren sehr kontrovers. Allerdings sind in jüngster Zeit im Solarmarkt bereits einige Differenzierungsmerkmale wie z.B. jährliche Ertragsgarantien vorzufinden, die von einigen Installateuren gewährt werden.

Eine weitere Entwicklung bzw. Initiative, die diesen Zusammenhang betrifft, ist das sog. „PV GAP“ (Global Approval Programm for Photovoltaics), das sich zur Aufgabe gesetzt hat, Qualitätsstandards und Anerkennungsverfahren für die Leistungsfähigkeit von PV-Komponenten und -Systemen zu entwickeln, um die Qualität und Zuverlässigkeit dieser Produkte sicherzustellen. Die geplanten Anforderungen und insbesondere die Kontrollen betreffen neben Produktanforderungen auch Herstellungsbedingungen und gingen damit sogar über die im Rahmen von Umweltzeichenanforderungen formulierbaren Kriterien hinaus. Die Initiative befindet sich noch im Entstehungs- und Abstimmungsprozess; wenn sie wie geplant institutionalisiert wird, ist zu untersuchen, ob hier nicht ein die Intentionen des Umweltzeichens (in Bezug auf Qualitätskontrolle und Produktverbesserungen) substituierendes oder gar effizienteres Instrument entsteht.

Abschließend kann damit also für photovoltaische Produkte mit Batterien die Auslobung eines Umweltzeichens empfohlen werden, für PV-Module und Wechselrichter gilt diese Empfehlung im Sinne der obigen Argumentationen nur in eingeschränkter Form. Ein Umweltzeichen für Wechselrichter sollte nicht unabhängig von einem Umweltzeichen für Module ausgeschrieben werden. Der Anforderungsschwerpunkt der Rückführung des Umweltzeichens für Module sollte zusätzlich durch staatliche Förderung von Rücknahme- und Recyclingaktivitäten bzw. diesbezüglicher Vernetzungsaktivitäten ergänzt werden. Außerdem sollten im Falle einer Umweltzeichenvergabe für Module die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Dünnschichtzellen parallel untersucht werden, um hier zusätzliche Anforderungen für die in wenigen Monaten (bzw. Jahren) am Markt erhältlichen (in Deutschland produzierten) Modelle zu entwickeln, damit eine zügige Vervollständigung des Geltungsbereichs ermöglicht wird.

6 Literatur

- Bergmann, Arno (2000): *PV GAP - Das weltweite Anerkennungsprogramm für die Photovoltaik - Garantiert hohe Qualität, Langlebigkeit und Zuverlässigkeit von PV-Produkten*. In: Tagungsband des 15. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie Kolleg; Regensburg.
- Bopp, G. / Erge, Th. / Schätzle, R. (1999): *Inwieweit tragen PV-Anlagen zum Elektrosmog bei?* In: Tagungsband des 14. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie Kolleg; Regensburg.
- BINE [BINE Projekt Info] (1998): *Photovoltaikanlagen - Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit*, Reihe des BINE Informationsdienstes, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Bonn, Nr.6 / September 1998.
- DFS [Deutscher Fachverband Solarenergie] (2000): *Aufbruch ins Solare Jahrtausend - 20 Jahre DFS*. Freiburg.
- Dietrich, Thomas / Lott, Jörg / Schmid, Martin (1996): *Fassungsvermögen - Doppelschichtstruktur ermöglicht hohe Energie- und Leistungsdichte*; in: ElektronikPraxis, Nr. 20, Würzburg.
- EU-Kommission [Kommission der Europäischen Gemeinschaften] (2000): *Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über Elektro- und Elektronikaltgeräte sowie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten*. KOM(2000) 347 vorläufig, 2000/0158 (COD) und 2000/0159 (COD), Brüssel.
- Gabler, Hansjörg / Kiefer, Klaus / Reise, Christian / Wiemken, Edo (1999): *Betriebsergebnisse netzgekoppelter Photovoltaikanlagen in Deutschland*. Paper für das 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie in Staffelstein, 10-12.03.1999.
- Greenpeace (o. J.): *PVC-Ersatzstoffe*. Internetquelle: http://www.greenpeace.de/GP_SYSTEM/GPFRAM10.HTM, Zugriffsdatum: 10.05.2000
- Hagedorn, Gerd (1997): *Kumulierter Energieaufwand und Aspekte zur Umweltverträglichkeit von Photovoltaik-Anlagen*. In: Fraunhofer-ISE (Hrsg.): Begleitbuch zum Seminar Photovoltaik-Anlagen, Freiburg.
- Heister, Andre / Kiefer, Klaus (1999): *Erste Betriebserfahrungen mit den Anlagen aus dem Umwelttarif-Programm der RWE Energie AG*. In: Tagungsband des 14. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie Kolleg; Regensburg.
- Henze, Andreas / Hillebrand, Werner (1999): *Strom von der Sonne: Photovoltaik in der Praxis; Techniken, Marktübersicht und Anleitung zum Selbstbau*; Freiburg.
- Hollemann-Wiberg (1995): *Lehrbuch der anorganischen Chemie*, 101. Auflage, Berlin.

- ISE (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme) [Hrsg.] (2000): *Supplementband Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme*. OTTI-Technologiekolleg 2. und 3. Feb. 2000, Freiburg.
- Jossen, Andreas / Dan, P. / Laube, G. / Protogeropolous, C. (1999): *Speichersysteme für photovoltaisch versorgte Kleingeräte*. In: Tagungsband des 14. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie Kolleg; Regensburg.
- Jossen, Andreas / Döring, Harry (1999): *Weiterentwickelte Batteriesysteme für photovoltaische Kleinanlagen*; in: Garche / Höhe / Stadermann (Hrsg.): *Elektrochemische Speichersysteme für regenerative Energieversorgungsanlagen* (Workshop des Forschungsverbund Sonnenenergie in Ulm), Berlin.
- Kuhmann, Jérôme (1998): *Elektrische Energiespeicher für Geräte und Kleinsysteme*; in: Fraunhofer-ISE (Hrsg.): *Photovoltaik-Geräte*, Freiburg.
- Panasonic information (o.J.): *Electric Double Layer Capacitors*, Short Form Catalogue, Haar.
- Photon (1999a): *Marktübersicht Solarmodule 1999*. Ausgabe März-April, S. 52-59, Aachen.
- Photon (1999b): *Marktübersicht Wechselrichter 1999*. Ausgabe Mai-Juni, S. 48-57, Aachen.
- Photon (2000a): *Marktübersicht Module 2000*. Nr. 2-2000, S. 54-63, Aachen.
- Photon (2000b): *Marktübersicht Wechselrichter 2000*. Nr. 3-2000, S. 66-71, Aachen.
- Pfanner, Norbert / Roth, Werner 1998: *Photovoltaik in der Beleuchtungstechnik*; in: Fraunhofer-ISE (Hrsg.): *Photovoltaik-Geräte*, Freiburg.
- Quaschnig, Volker (1999): *Energetische Amortisation und Erntefaktoren regenerativer Energien*. <http://emsolar.ee.tu-berlin.de/allgemein/enamort.html>, Zugriffsdatum: 10.09.2000.
- RAL [Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.] 2000: *Produktanforderungen Zeichenanwender und Produkte* (in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt); Sankt Augustin.
- Roth, Werner (1997): *Photovoltaische Energieversorgung von Geräten und Kleinsystemen*, Begleitbuch zum Seminar des Fraunhofer-ISE, Freiburg.
- Roth, Werner (1999): *Prinzipieller Aufbau photovoltaischer Energieversorgungssysteme*. In: Schmid, Jürgen (Hrsg.): *Photovoltaik - Strom aus der Sonne; Technologie, Wirtschaftlichkeit und Marktentwicklung*. Heidelberg.
- Roth, Werner / Steinhüser, Andreas (1999): *Photovoltaische Energieversorgung für Verbraucher im kleinen und mittleren Leistungsbereich*. In: Schmid, Jürgen (Hrsg.): *Photovoltaik - Strom aus der Sonne; Technologie, Wirtschaftlichkeit und Marktentwicklung*. Heidelberg.
- Sauter, Martin / Fischer, Peter (1998): *Entwicklung eines recyclingfähigen Wechselrichters*; in: Tagungsband des 13. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie Kolleg; Regensburg.

- Schattner, S. / Bopp, G. / Erge, T. / Häberlin, H. / Verhoeven, B. (1999): *Die elektromagnetische Verträglichkeit von PV-Anlagen und ihren Komponenten - neue technische und rechtliche Aspekte*; in: Tagungsband des 14. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie Kolleg; Regensburg.
- Scholl, Gerd / Baumann, Werner / Barlin, Ann-Katrin (1998): *Nachvollziehbare Kriterien - Die Europäische Union arbeitet an einem Umweltzeichen für Batterien*; in: Müllmagazin 2/1998; S. 52-55.
- Schmidt, Heribert (1999): *Photovoltaik-Wechselrichter*; in: Schmid, Jürgen (Hrsg.): Photovoltaik - Strom aus der Sonne; Technologie, Wirtschaftlichkeit und Marktentwicklung. Heidelberg.
- Schulze, F. W. (1999): *Aufbau und Herstellung von Leistungsmodulen auf der Basis kristalliner Silizium- und Dünnschichtsolarzellen*; in: Schmid, Jürgen (Hrsg.): Photovoltaik - Strom aus der Sonne, Heidelberg.
- Solarthemen (1999): *Photovoltaik-Produktion in Deutschland*. Nr. 66, 25. Juni 1999, S. 8-9, Bad Oeynhausen.
- Solarthemen (2000): *Photovoltaik-Produktion in Deutschland*. Nr. 89, 2. Juni 2000, S. 5-11, Bad Oeynhausen.
- Staiß, Frithjof (2000): *Photovoltaik - Ein Leitfaden für Anwender*. Hrsg. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Köln.
- Steinberger, Hartmut (1998): *Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen der Herstellung und Anwendung sowie Entsorgung von Dünnschichtsolarzellen und Modulen*; Kenntnisstandbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben des Fraunhoferinstitut für Festkörpertechnologie IFT, München.
- Stiftung Warentest 2000: *Einer für alle*; Nr. 7 / 2000, Berlin.
- UBA [Umweltbundesamt] (Hrsg.) (1999a): *Handbuch umweltfreundliche Beschaffung: Empfehlungen zur Berücksichtigung des Umweltschutzes in der öffentlichen Verwaltung und im Einkauf*, München.
- UBA [Umweltbundesamt] (Hrsg.) (1999b): *Batterien - neue Fakten und Trends*, Internetveröffentlichung vom 18.10.1999 (www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/batttrend.htm)
- Vaaßen, W. / Cox, A. / Hupach, U. (2000): *Gebrauchstauglichkeit von PV-Modulen und Wechselrichtern*. In: Tagungsband des 15. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie Kolleg; Regensburg.
- Vogtmann, Michael / Hüttmann, Matthias / Wraneschitz, Heinz (1999): *Das Bundeskleingartengesetz und die Folgen: Warum ist Solarstrom in Schrebergärten nicht erlaubt? Lösungsmöglichkeiten für ein Problem, das eigentlich gar nicht vorhanden ist*. In: Tagungsband des 14. Symposiums Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie Kolleg; Regensburg.

Wambach, Karsten (1998): *Untersuchungen zu den technischen Möglichkeiten der Verwertung und des Recyclings von Solarmodulen auf Basis von kristallinem und amorphem Silizium*; Beitrag von Pilkington Solar International GmbH zum BINE Projekt-Info-Service Nr.6/1998; Gelsenkirchen.

Welter, Philippe (2000): *Mehr, besser, billiger - Die aktuelle Marktübersicht: Wechselrichter zur Netzeinspeisung*; in: Photon, Ausgabe Mai-Juni 2000, S. 60-64, Freiburg.

Zehner, Mike / Becker, Gerd / Dax, Michael / Quaschnig, Volker (2000): *Akquisition und Projektierung leichter gemacht*. In: Photon, Nr. 1-2000, S. 46-49, Aachen.

Anhänge

Anhang I: Entwurf produktgruppenspezifischer Anforderungsprofile

Bei der Erstellung dieser Kriterienentwürfe wurden das bereits vorhandene deutsche Umweltzeichen für Solarprodukte (RAL-UZ 47) sowie vergleichbare nationale und internationale Umweltzeichen berücksichtigt. Aus dem internationalen Kontext sind insbesondere die japanischen Zeichen „Eco-mark“ No. 26 (Solarprodukte mit Batterien) und No. 71 (solarbetriebene Uhren und Armbanduhren ohne Batterie), sowie das taiwanesisches Zeichen „Green-mark“ No. 9 (Solarprodukte mit Batterien) zu nennen.

Nachfolgend werden die produktgruppenspezifischen Anforderungsprofile in Form von Formulierungsvorschlägen für potentielle Vergabegrundlagen aufgeführt, wie sich inhaltlich aus den Untersuchungen und den Expertendiskussionen ergaben. Dies betrifft:

1. Anforderungen an PV-Produkte mit Batterie
2. Anforderungen an Photovoltaik-Module
3. Anforderungen an Photovoltaik-Wechselrichter

1 Anforderungen an PV-Produkte mit Batterie

Als Umschrift des Umweltzeichens wird vorgeschlagen: "weil solarbetrieben und schadstoffarm".

1.1 Einführung

Die Solartechnik stellt eine wichtige Möglichkeit für die zukünftige Energieversorgung dar. Solartechnik kann sinnvoll in Produkten mit Energiebedarf eingesetzt werden, wenn dadurch beispielsweise die Nutzung von Primärbatterien oder aber die Schaffung eines Zugangs an das Stromnetz ersetzt wird. Die photovoltaische Energieversorgung erfolgt dabei häufig in einem System mit wiederaufladbaren Batterien, um eine ausreichende Funktionssicherheit des Produkts zu gewährleisten. Unter Verzicht auf den Einsatz cadmiumhaltiger Batterien und weiterer Schadstoffe können photovoltaische Produkte zu einer Verringerung der Umweltbelastung und zu einer Imageförderung und Verbreitung der Photovoltaik beitragen.

1.2 Geltungsbereich

Diese Vergabegrundlage gilt für mit Solar- bzw. Lichtenergie betriebene Armbanduhren, Wecker, Gartenleuchten, Hausnummernbeleuchtungen und Weidezaungeräte, die zusätzlich mit einem wiederaufladbaren elektrochemischen Speichersystem ausgestattet sind. Alle Produkte müssen beim Verkauf sowohl den Solargenerator, als auch die Speicherbatterie aufweisen.

1.3 Anforderungen

Mit dem Umweltzeichen können die unter Geltungsbereich genannten Solarprodukte gekennzeichnet werden, sofern sie den folgenden Anforderungen entsprechen.

1.3.1 Allgemeines

Voraussetzung für die Vergabe des Umweltzeichens für Geräte gemäß Geltungsbereich ist ein Nachweis der Richtlinienkonformität und der Berechtigung zum Führen des CE-Zeichens.

Nachweis: *Der Antragsteller legt eine entsprechende Konformitätserklärung vor.*

1.3.2 Langlebigkeit der Geräte

1.3.2.1 Auswechselbarkeit der Batterie

Die Batterie muss so eingebaut sein, dass sie durch den Kunden und mit haushaltsüblichen Mitteln auswechselbar ist. Dieser Auswechsellvorgang ist in der Produktbeschreibung kenntlich zu machen.

Dies gilt nicht für die Batterien von Armbanduhren, wenn diese durch einen Fachmann ausgetauscht werden sollen. In diesen Fällen muss der Hersteller in der Produktbeschreibung auf entsprechende Serviceeinrichtungen hinweisen.

1.3.2.2 Herstellergarantie

Die Garantieleistung des Antragstellers für das Gerät bezieht sich auf alle Bauteile bzw. Komponenten (d.h. inklusive Batterie und Modul) und schließt die Erfüllung aller in der Produktbeschreibung angegebenen Funktionen (Gewährleistung von Funktionssicherheit) für mindestens 2 Jahre ein.

Nachweise zu 1.3.2: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt entsprechende Auszüge aus der Produktbeschreibung vor.

1.3.3 Anforderungen an Batterie und Elektronik

1.3.3.1 Verbot cadmiumhaltiger Batterien

Der Einsatz von cadmiumhaltigen Batterien mit einem Cadmiumgehalt von $>0,001$ Gewichtsprozent ist verboten; diesbezüglich sind die entsprechenden Richtlinien in ihrer jeweils gültigen Fassung zu beachten. Der Antragsteller verpflichtet sich, einen cadmiumfreien Akku beim Verkauf des Gerätes einzubauen und in der Betriebsanleitung bzw. Produktbeschreibung deutliche Hinweise auf den Einsatz eines cadmiumfreien Ersatzakkus zu geben.

1.3.3.2 Schutz gegen Überladen oder Tiefentladen der Batterie

Ein wirksamer Schutz der Batterie gegen Überladen oder Tiefentladen ist durch eine geeignete Abstimmung der Komponenten oder eine Ladeelektronik durch den Hersteller nachzuweisen. Darüber hinaus ist in der Produktbeschreibung auf die lebensdauerrelevanten, batterie-spezifischen Risiken hinzuweisen und sind gegebenenfalls geeignete Gegenmaßnahmen zur Wiederherstellung oder Erhaltung der Leistungsfähigkeit des Akkus anzugeben.

1.3.3.3 Entsorgungshinweise

Der Antragsteller verpflichtet sich, in den Produktunterlagen darauf hinzuweisen, dass alle Batterien grundsätzlich dem dafür vorgesehenen Rücknahmesystem zuzuführen sind und nicht mit dem Hausmüll entsorgt werden dürfen. Darüber hinaus müssen die Produktunterlagen die notwendigen Informationen und Hinweise über die Rücknahmemöglichkeiten enthalten.

In Bezug auf das Gesamtprodukt sind Hinweise gemäß jeweils geltender Richtlinien zur Behandlung / Entsorgung von Elektronikschrott in der Produktbeschreibung aufzuführen.

Nachweise zu 1.3.3: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt entsprechende Auszüge aus der Produktbeschreibung vor.

1.3.4 Sonstige Materialanforderungen

Es dürfen keine Teile eingesetzt werden, deren Cadmiumgehalt über 0,001 Gewichtsprozent liegt.

Der Einsatz von Kunststoffen, Flammschutzmitteln und Kondensatoren, die halogenierte organische Stoffe enthalten, ist untersagt. Von dieser Regelung ausgenommen sind Kunststoffe, die als Rückseitenfolie des Solargenerators eingesetzt werden.

Nachweis: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen.

1.3.5 Funktionssicherheit

Der Hersteller muss in der Produktbeschreibung auf Einschränkungen der Funktionssicherheit durch ungünstige Einsatzbedingungen (Ausrichtung und Anstellwinkel des Moduls, Verschattung) hinweisen.

Der Hersteller muss zur Ermittlung der Funktionssicherheit den Energiebedarf des Gerätes bestimmen, gegebenenfalls unter Berücksichtigung eines typischen Verbrauchsprofils. Ein solches Verbrauchsprofil ist aus den Grundfunktionen des Produktes und der durchschnittlichen Inanspruchnahme wesentlicher Zusatzfunktionen zu ermitteln.

1.3.5.1 Bedingungen für Indoor-Produkte

(Produkte, die auch oder vorwiegend in Innenräumen zum Einsatz kommen)

Solar-Armbanduhren müssen ihre volle Funktion bei einer Lichtmenge von 1800 Luxh/Tag, Solarwecker bei einer Lichtmenge von 2000 Luxh/Tag (jeweils Fluoreszenzlicht) erfüllen. Die Dunkelgangreserve der Batterie muss in beiden Fällen mindestens 60 Tage betragen.

Nachweis: Der Hersteller muss die Einhaltung der geforderten Funktionssicherheit durch Berechnungen in einfacher, übersichtlicher Form nachweisen, wobei die technisch relevanten Auslegungsdaten (Leistungsaufnahme des Verbrauchers, Daten zu Modul (Strom-/Spannungs-Kennlinie, spektrale Empfindlichkeit, Temperaturkoeffizient und Typ) und zur Batterie (Typ, Kapazität, Temperaturkoeffizient der Kapazität, Tiefentladeschlussspannung) zu berücksichtigen sind.

1.3.5.2 Bedingungen für Outdoor-Produkte

(Produkte, die vorwiegend im Außenbereich zum Einsatz kommen)

Outdoor-Produkte müssen eine Mindest-Funktionssicherheit erfüllen, die über die Solare Deckungsrate angegeben wird. Die Solare Deckungsrate gibt den Anteil der genutzten Solarenergie (die über Solargenerator und Speicher zur Verfügung gestellt wird) am Gesamtenergiebedarf des Produkts bzw. Verbrauchers an.

- Solar-Hausnummernbeleuchtungen müssen über das gesamte Jahr eine Solare Deckungsrate von 98 % aufweisen. Diese Deckungsrate muss an jeder Hauswand mit Ausnahme einer Nordwand erreicht werden. Auf mögliche Einschränkungen des Einsatzes an einer Nordwand ist in der Produktbeschreibung ausdrücklich hinzuweisen. Der Auf-

druck der Solar-Hausnummernbeleuchtung muss in einem Abstand von 10 m noch gut lesbar sein.

- Solar-Gartenleuchten müssen die vom Hersteller angegebenen Leuchtdauern im vorgesehenen Einsatzzeitraum einhalten, wobei das Gerät eine Mindestleuchtdauer von 4 Stunden einhalten muss. Das Gerät muss auf der Basis dieser Anforderungen eine Solare Deckungsrate von mindestens 95 % aufweisen. Der Hersteller muss die Helligkeitsleistung auf der Verpackung sowie die Abhängigkeit der Leuchtdauer von den jahreszeitlichen Strahlungsverhältnissen in der Produktbeschreibung in geeigneter Weise dokumentieren.
- Solar-Weidezaungeräte müssen die vom Hersteller angegebenen Funktionen im vorgesehenen Einsatzzeitraum voll erfüllen. Das Gerät muss auf der Basis dieser Angaben eine Solare Deckungsrate von 100 % aufweisen.

Nachweise:

- *Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der obigen Anforderungen.*
- *Der Antragsteller muss die Einhaltung der geforderten Funktionssicherheit anhand von rechnergestützten Simulationsergebnissen nachweisen. Die Simulation ist mit einem marktgängigen Programm durchzuführen bzw. von Dritten durchführen zu lassen. Für ein deutschlandweit vertriebenes Produkt sind Wetterdaten des Testreferenzjahres Hamburg zu verwenden. In der Simulation sind die vom Hersteller in den Produktunterlagen angegebenen Einsatzzeiträume (ganzjährig oder z.B. nur Sommermonate) zu berücksichtigen.*
- *Der Antragsteller muss ein Ergebnisprotokoll der Simulation vorlegen, aus dem die Einhaltung der geforderten solaren Deckungsrate unter Angabe der wesentlichen Inputdaten hervorgeht. Das Ergebnisprotokoll soll enthalten:*
 - *Name des verwendeten Programms,*
 - *Name der Institution, welche die Simulation durchgeführt hat,*
 - *verwendete Wetterdatensätze,*
 - *wesentliche Inputgrößen (technische Daten des Produkts, geforderte solare Deckungsrate).*

2 Anforderungen an Photovoltaik-Module

Als Umschrift des Umweltzeichens wird vorgeschlagen: “weil Rücknahme und geringe Leistungstoleranz”

2.1 Einführung

Die Solartechnik stellt eine wichtige Möglichkeit für die zukünftige Energieversorgung dar. Die zentrale Komponente bei netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen ist das PV-Modul. Aus ökologischen aber auch wirtschaftlichen Gründen ist ein möglichst hoher Solarstromertrag anzustreben. Dies soll durch eine möglichst hohe Qualität der Module sichergestellt werden; darüber hinaus sollte die Solartechnik als eine umweltfreundliche Energieerzeugungsstrategie möglichst wenig Schadstoffe aufweisen und einer Kreislaufverwertung zugänglich gemacht werden.

2.2 Geltungsbereich

Diese Vergabegrundlage gilt für photovoltaische Module mit monokristallinen oder polykristallinen Siliziumzellen.

2.3 Anforderungen

Mit dem Umweltzeichen können die unter Geltungsbereich genannten Solar-Module gekennzeichnet werden, sofern sie den folgenden Anforderungen entsprechen:

2.3.1 Allgemeines

Voraussetzung für die Vergabe des Umweltzeichens für Geräte gemäß Geltungsbereich ist ein Nachweis der Richtlinienkonformität insbesondere nach IEC 61215 sowie der Einhaltung der Schutzklasse II.

Nachweis: Der Antragsteller legt das Prüfzertifikat nach IEC 61215 sowie eine Erklärung zur Einhaltung der Schutzklasse II vor.

2.3.2 Garantieleistung des Herstellers

Die Produktgarantie beträgt mindestens 2 Jahre. Die Leistungsgarantie beträgt mindestens 10 Jahre auf 90 % der Nennleistung. Die Produktunterlagen müssen Informationen über beide Garantieleistungen enthalten.

Nachweis: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt entsprechende Auszüge aus der Produktbeschreibung vor.

2.3.3 Rücknahme der Module

Der Hersteller muss Module mit dem Umweltzeichen nach deren Gebrauch zurücknehmen, um diese einer Wiederverwendung bzw. wertstofflichen Verwertung zuzuführen. Nicht verwertbare Geräteteile sind sachgemäß zu entsorgen. Die Rücknahme der Module erfolgt durch vom Hersteller benannte oder beauftragte Annahmestellen, die sich in Deutschland befinden müssen. Die Produktunterlagen des Moduls müssen Informationen über die Rückgabemöglichkeiten enthalten.

Nachweis: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt entsprechende Auszüge aus der Produktbeschreibung vor.

2.3.4 Materialanforderungen an Kunststoffe

Im Modul und in seinen direkten Zubehörteilen (z.B. Kabel, Anschlussdose) dürfen keine Stoffe verwendet werden, die dioxin- oder furanbildend wirken können. Daher sind halogenhaltige Polymere und Zusätze von halogenorganischen Verbindungen nicht zulässig.

Von dieser Regelung ausgenommen sind Polymere, die als Rückseitenfolie des Moduls zum Einsatz kommen. Die Verwendung derartiger Polymere ist unter Angabe der genauen Bezeichnung im Datenblatt anzuzeigen.

Nachweise: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt entsprechende Auszüge aus dem Datenblatt vor.

2.3.5 Modulwirkungsgrad

Der Modulwirkungsgrad ist im Datenblatt in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke anzugeben. Hierbei sind im Bereich zwischen 0 und 1000 W/m² mindestens 4 sinnvolle Werte zu ermitteln (Beispielsweise für 1000, 750, 500 und 250 W/m²).

Nachweise: Der Modulwirkungsgrad und seine Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke ist durch eine unabhängige Prüfinstitution auf der Basis der Messungen der Nennleistung im Rahmen der Qualitätsprüfung nach IEC 61215 zu ermitteln. Der diesbezügliche Nachweis sowie die entsprechenden Auszüge aus dem Datenblatt sind vorzulegen.

2.3.6 Qualität des Produkts

2.3.6.1 Begrenzung der Leistungstoleranz

Die Leistungstoleranz, d.h. die Abweichung von der Nennleistung, darf bei allen im Geltungsbereich genannten Modultypen einen Wert von +/- 5 % der angegebenen Nennleistung nicht überschreiten.

2.3.6.2 Informationen über den Temperaturkoeffizient

Die temperaturabhängige Leistungsabnahme, angegeben durch den Temperaturkoeffizient pro °C, muss auf dem Datenblatt angegeben werden.

Nachweise zu 2.3.6: Die Leistungstoleranz ist durch eine unabhängige Prüfinstitution im Rahmen der Qualitätsprüfung nach IEC 61215 zu ermitteln. Der diesbezügliche Nachweis und die entsprechenden Auszüge aus dem Datenblatt bezüglich der Leistungstoleranz sowie des Temperaturkoeffizienten sind vorzulegen.

2.3.7 Herstellerinformationen

Das Datenblatt und das Typenschild sind gemäß des Normentwurfs DIN 40025 anzufertigen. Die modulspezifische Nennspannung und der modulspezifische Nennstrom sind direkt auf dem Modul anzugeben. Dem Produkt sind darüber hinaus Installationshinweise beizufügen.

Nachweis: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen.

3 Anforderungen an Photovoltaik-Wechselrichter

Als Umschrift des Umweltzeichens wird vorgeschlagen: „weil energieeffizient und recyclinggerecht“

3.1 Einführung

Die Solartechnik stellt einen wichtigen Weg für die zukünftige Energieversorgung dar. Eine wesentliche Komponente bei netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen ist der Wechselrichter. Solar-Wechselrichter müssen spezifische Eigenschaften aufweisen, die mit ihrem Einsatz unter Teillast-Bedingungen zu tun haben. Deswegen sollen sie einen möglichst hohen sog. europäischen Wirkungsgrad aufweisen, der diese Bedingungen berücksichtigt, und zudem selbst wenig Energie verbrauchen, um eine hohe Effizienz und maximale Solarstromausbeute zu gewährleisten. Darüber hinaus sollten sie als wichtige Komponente einer umweltfreundlichen Energieerzeugungsstrategie recyclinggerecht konstruiert sein, um Reparatur und Kreislaufverwertung zu ermöglichen und somit Langlebigkeit und Ressourceneffizienz zu erhöhen.

3.2 Geltungsbereich

Diese Vergabegrundlage gilt für Wechselrichter, die speziell für den Einsatzbereich in Photovoltaikanlagen konstruiert sind. Dazu gehören Modul-, Strang- und zentrale Wechselrichter.

3.3 Anforderungen

Mit dem Umweltzeichen können die unter Geltungsbereich genannten Solar-Wechselrichter gekennzeichnet werden, sofern sie den folgenden Anforderungen entsprechen:

3.3.1 Allgemeines

Voraussetzung für die Vergabe des Umweltzeichens für Geräte gemäß Geltungsbereich ist ein Nachweis der Richtlinienkonformität und der Berechtigung zum Führen des CE-Zeichens. Die Einhaltung der VDEW-Richtlinien für Eigenerzeugungsanlagen ist nachzuweisen.

Nachweis: *Der Antragsteller legt entsprechende Konformitätserklärungen vor.*

3.3.2 Langlebigkeit

3.3.2.1 Garantieleistung des Herstellers

Die Garantieleistung des Herstellers beträgt mindestens 2 Jahre.

3.3.2.2 Reparatursicherheit

Der Hersteller verpflichtet sich, für die Reparatur der Geräte die Ersatzteilversorgung für mindestens 10 Jahre nach Produktionseinstellung (des Gerätes) sicherzustellen, wobei unter Ersatzteilen solche Teile zu verstehen sind, die typischerweise im Rahmen der üblichen Nutzung des Produktes ausfallen können. Keine Ersatzteile sind die, die regelmäßig die Lebensdauer des Produktes überdauern.

3.3.2.3 Information über Langlebigkeit

Die Produktunterlagen müssen Informationen über die Anforderungen aus 3.3.2.1 und 3.3.2.2 enthalten.

Nachweise zu 3.3.2: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt entsprechende Auszüge aus der Produktbeschreibung vor.

3.3.3 Rücknahme der Geräte

Der Hersteller muss Geräte mit dem Umweltzeichen nach deren Gebrauch zurücknehmen, um diese einer Wiederverwendung bzw. wertstofflichen Verwertung zuzuführen. Nicht verwertbare Geräteteile sind sachgemäß zu entsorgen. Die Umweltzeichen-Geräte müssen in einem Zustand zurückgegeben werden, der dem bestimmungsgemäßen Gebrauch entspricht. Die Rücknahme des Gerätes erfolgt durch vom Hersteller benannte oder beauftragte Annahmestellen, die sich in Deutschland befinden müssen. Die Produktunterlagen des Wechselrichters müssen Informationen über die Rückgabemöglichkeiten enthalten.

Nachweis: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt entsprechende Auszüge aus der Produktbeschreibung vor.

3.3.4 Recyclinggerechte Konstruktion

Die Geräte müssen die Prinzipien der VDI-Richtlinie 2243 „Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte“ auf der Basis von Merkmalen erfüllen, die der Hersteller unter Berücksichtigung der vorgesehenen Verfahren zur Wiederverwendung und stofflichen Verwertung festgelegt hat.

Nachweis: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung.

3.3.5 Materialanforderungen an die Kunststoffe der Gehäuse und Gehäuseteile

Für die Gehäuse dürfen keine Stoffe verwendet werden, die dioxin- oder furanbildend wirken können. Daher sind halogenhaltige Polymere und Zusätze von halogenorganischen Verbindungen - insbesondere als Flammschutzmittel - nicht zulässig. Darüber hinaus ist bleifreies Lot zu verwenden.

Nachweis: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen.

3.3.6 Eurowirkungsgrad und Energieeffizienz des Geräts

Der Wechselrichter muss die in der Tabelle aufgeführten Anforderungen bezüglich des Europäischen Wirkungsgrades (auch: Eurowirkungsgrad⁵⁵), des Stand-by-Verbrauchs, des Nachtverbrauchs und der Einspeiseleistung einhalten.

Der Eurowirkungsgrad ist nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\eta_{\text{Europ}} = 0,03 \cdot \eta (0,05 \cdot P_n) + 0,06 \cdot \eta (0,1 \cdot P_n) + 0,13 \cdot \eta (0,2 \cdot P_n) + 0,1 \cdot \eta (0,3 \cdot P_n) + 0,48 \cdot \eta (0,5 \cdot P_n) + 0,2 \cdot \eta (P_n),$$

wobei P_n die Nennleistung des Wechselrichters angibt. Für die Messbedingungen zur Ermittlung des Eurowirkungsgrades gilt die IEC 61683, die um einige weitere Aspekte ergänzt wird. Im einzelnen sind die folgenden Punkte zu berücksichtigen:

- Die Umgebungstemperatur beträgt 25 °C (Toleranz: +/- 2 °C)
- Ausgangsspannung ist die Nennspannung des Netzes (d.h. in Deutschland 230 / 400 V), hier kann eine Toleranz von +/- 2 % berücksichtigt werden.
- Die Energiequelle muss ein PV Generator oder ein PV Simulator sein.
- Die Eingangsspannung beim Test muss konstant (im Rahmen der MPP-Suche) gehalten werden. Sie muss beim Mittelwert des Eingangsspannungsbereiches liegen.
- Die nach IEC 61683 vorgeschriebenen Messungen sind um die Werte zu ergänzen, die zur Ermittlung des Eurowirkungsgrades benötigt werden (d.h. bei 5, 10, 20, 30, 50, 100 %) und sind auf der Basis der AC-Nennleistung zu ermitteln.
- Jeder Messpunkt muss solange eingehalten werden, dass sich eine stationäre Temperatur der Leistungshalbleiter einstellt.

Tabelle 16: Anforderungen an Eurowirkungsgrad und Energieeffizienzgrößen

Nennleistung DC	Anforderung an Eurowirkungsgrad	Stand-by-Verbrauch (in % der Nennleistung)	Nachtverbrauch (in % der Nennleistung)	Einspeiseleistung (in % der Nennleistung)
< 1 kW	≥ 91 %	≤ 0,5 %	≤ 0,05 %	≤ 1 %
1 - 3 kW	≥ 92 %	≤ 0,5 %	≤ 0,05 %	≤ 1 %
3 - 50 kW	≥ 93 %	≤ 0,3 %	≤ 0,05 %	≤ 1 %
> 50 kW	≥ 94 %	≤ 0,1 %	≤ 0,05 %	≤ 1 %

Der Stand-by-Verbrauch gibt die Stromaufnahme aus dem Netz an, wenn der Wechselrichter eingeschaltet und zur Einspeisung bereit ist.

⁵⁵ Der Europäische Wirkungsgrad ist ein Mittelwert aus gewichteten Wirkungsgradwerten bei verschiedenen (Teil)Lasten. Die Stützpunkte und die Gewichtungen werden so gewählt, dass die mitteleuropäischen Strahlungsverhältnisse berücksichtigt werden. Dadurch gibt dieser Wert eine gute Abschätzung für den Wirkungsgrad, den ein Wechselrichter im Jahresmittel in Mitteleuropa erwarten lässt.

Der Nachtverbrauch gibt an, wie viel Energie der Wechselrichter verbraucht, wenn er sich in der Nachtabstaltung befindet. Die Einspeiseleistung ist die Leistung, die der Solargenerator mindestens erzeugen muss, damit der Wechselrichter in das Stromnetz einspeisen kann.

Nachweise: Die Einhaltung dieser Anforderungen ist durch eine unabhängige Prüfinstitution nachzuweisen und das entsprechende Prüfprotokoll vorzulegen.

3.3.7 Sicherheit

Das Gerät sollte eine Einrichtung zur Netzüberwachung mit zugeordnetem Schaltorgan (ENS) aufweisen. Wird auf eine geräteinterne ENS verzichtet, dann müssen in der Installationsanleitung deutliche Hinweise auf die Berücksichtigung einer externen Einrichtung zur Netzüberwachung aufgeführt sein.

Transformatorlose Wechselrichter müssen einen allstromsensitiven Fehlerstromschutzschalter aufweisen. Diesbezüglich sind die Anforderungen des ermächtigten Normentwurfs DIN VDE 0126: 1999-04 einzuhalten.

Nachweis: Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt entsprechende Auszüge aus der Produktbeschreibung bzw. den technischen Merkblättern vor.

Anhang II: Exkurs PV-GAP

Mit dem sog. PV GAP (Global Approval Programm for Photovoltaics) existiert seit einigen Jahren eine Organisation, die es sich zur Aufgabe gesetzt hat, Qualitätsstandards und Anerkennungsverfahren für die Leistungsfähigkeit von PV-Komponenten und -Systemen zu entwickeln, um die Qualität und Zuverlässigkeit dieser Produkte sicherzustellen. Diese internationale Initiative ist maßgeblich aus dem amerikanischen Raum und dem industriellen Milieu hervorgegangen und basiert auf einem Qualitätsbewertungssystem der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC). Die entwickelten empfohlenen Standards sollen der Weiterentwicklung der IEC-Standards dienen und mit einem eigenen Siegel zertifiziert werden können. Das Qualitätssicherungsprogramm besteht aus zwei Stufen: Zum einen aus der Herstelleranerkennung, die sich im wesentlichen auf den Nachweis der technischen Kompetenz (in Bezug auf die Herstellung) sowie auf die Existenz eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9000 bezieht; zum anderen aus der Produktanerkennung, die sich aus einer Vielzahl von bestehenden, aber auch eigenen Standards zusammensetzt, deren Einhaltung nicht nur durch einmalige, sondern in Bezug auf einzelne Kennwerte auch mehrmalige oder kontinuierliche Prüfungen nachgewiesen werden soll. Mit dieser auf Qualität und Zuverlässigkeit ausgerichteten Intention ist PV-GAP prinzipiell als Referenzangabe für den hier vorliegenden Umweltzeichen-Kontext geeignet. Allerdings sind die empfohlenen Standards noch nicht vollständig ausgearbeitet, zudem nicht unumstritten und derzeit noch in internationalen Diskussions- und Abstimmungsprozessen. Darüber hinaus liegen in Bezug auf das geplante Prüfungsprozedere noch keine ausreichenden Erfahrungen vor. Insbesondere für die hier relevanten Produkte und PV-Komponenten liegen noch keine abgeschlossenen Zertifizierungsstandards vor (vgl. Bergmann 2000). Es wird jedoch empfohlen, die Entwicklung und die Erfahrungen dieser Zertifizierung im Auge zu behalten und u.U. bei späteren Überarbeitungen zu berücksichtigen.

Anhang III: Fachgespräch

1. Tagesordnung

2. Begrüßung (Umweltbundesamt)
3. Vorstellungsrunde
4. Einführende Worte zum Blauen Engel und zum Vorhaben
5. Vorstellung des Vorhabens
6. Block I: Anforderungen an PV-Produkte mit Batterien
7. Block II: Anforderungen an PV-Module
8. Block III: Anforderungen an PV-Wechselrichter
9. Abschlussrunde und Ausblick auf das weitere Verfahren

2. Teilnehmer des Fachgesprächs

Anwesenheitsliste zum Fachgespräch "Umweltzeichen für Photovoltaische Produkte mit Batterien, PV-Module und PV-Wechselrichter", 27.9.2000, Umweltbundesamt, Berlin-Spandau

	Teilnehmer	Institution / Firma	Tätigkeitsbereich / Produkt	Anschrift	Telefon
1.	Hr. Hirschl	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung	Projektbearbeitung Studie	Bergstr. 7 69120 Heidelberg	06221 / 649164
2.	Hr. Roth Hr. Laukamp	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme	Projektbearbeitung Studie	Oltmannsstr. 5 79100 Freiburg	0761 / 4588-227 0761 / 4588-275
3.	Fr. Kreowski (Fachg. III 1.3) Hr. Plehn (Fachg. III 1.4) Hr. Steinhagen (Fachg. I 2.5)	Umweltbundesamt	Auftraggeber der Studie	Seecktstr. 6-10 14191 Berlin	030 / 8903 3678 030 / 8903 3749 030 / 8903 3429
4.	Hr. Schäfer	DFS Deutscher Fachverband Solarenergie e.V.	Verband	Bertoltstr. 45 79098 Freiburg	0761 / 2962090
5.	Hr. Rauscher	DGS e. V. Geschäftsstelle Berlin/Brandenburg	Verein	Seestr. 64 13347 Berlin	030 / 75702310
6.	Fr. Brummack	Junghans Uhren GmbH	Solar-Armbanduhren	Geißhaldenstr. 49 78713 Schramberg	07422 / 18-914
7.	Hr. Haupt	High Solar	Solarwecker	Prittitzstr. 100 89075 Ulm	0731 / 9608484
8.	Hr. Jeltsch	J. Wagner GmbH	Solar-Gartenleuchten	Otto-Lilienthal-Str. 18 88677 Markdorf	07544 / 505-331
9.	Hr. Schöniger	LiSol	Solar-Hausnummernbeleuchtungen	Blumenstr. 14 73779 Deizisau	07153 / 83590
10.	Hr. Petzold	horizont agratechnik GmbH	Solarweidezaungeräte	Homberger Weg 4-6 34497 Korbach	033432 / 83721
11.	Hr. Dr. Skiba	Shell Solar Deutschland	Module	Suhrenkamp 71-77 22335 Hamburg	040 / 6324-6806
12.	Hr. Rübel	Angewandte Solarenergie ASE GmbH	Module	Instustriestr. 13 63755 Alzenau	089 / 46264-203
13.	Hr. Triebel (Module) Hr. Fütterer (WR)	Solon AG für Solartechnik	Module / WR	Schlesische Str. 27 10997 Berlin	030 / 6107090 030 / 610709
14.	Hr. Greizer	SMA Regelsysteme	Wechselrichter	Hannoversche Str. 1-5 34266 Niestetal	0561 / 9522-330
15.	Hr. Sauter	Wuseltronik GmbH	Wechselrichter F+E	Paul-Linke-Ufer 41 10999 Berlin	030 / 61850-71 Fax -75
16.	Hr. Kölbel	Sonnenschein GmbH	Akkus	Im Thiergarten 63654 Büdingen	06042 / 81553