

Auf dem Weg zum "Nachhaltigen Wirtschaften" ?

On the way to a "sustainable development" ?

Hinsch, Christian; Schetelich, Rainer; DEWI

Summary

When talking about "sustainable development" and the way to realize it, the life cycle of a product has to be assessed. It is out of doubt that for wind energy converters (WEC) the phase of operation contributes to a better environment, but how is the state of the art when regarding the phases of research, development, production, marketing and disposal? This article describes some aspects to improve the phases of disposal and production.

Regarding the phase of disposal, a thesis was prepared to find out about the possibilities for disposal of different materials used in a WEC. A survey among the manufacturers and an estimation reveal that mainly concrete, steel and glass fiber reinforced plastics (GRP) are used. As further materials coatings, aluminum, copper, grease/oil, other plastics, rubber and brake fluids were mentioned. The increased use of carbon fiber reinforced plastics (CRP) and wood for rotorblade structures can be expected in future. For most of these materials technical solutions of disposal were achieved in the recent years, which are already translated in many industrial areas. More difficulties occur with the re-use of reinforced plastics; for GRP, a pyrolysis with a following reduction into gas could be a possible way, but this method will not preserve the original value of the glass fibers. Considering the energy necessary to dispose a WEC (energy for dismantling, transportation and the various processes), this will lead to a decrease of the energy harvest factor. The energy harvest factor represents the energy output over life time in relation to the energy used for production, transport etc. For a 450 kW - WEC, the energy harvest factor will drop from 45.5 , 114 (depending on the annual average wind speed) down to 38 , 84, when taking into account the energy for disposal.

Regarding the phase of production, the European Community issued a council regulation, encouraging voluntary participation by companies in the industrial sector in a Community eco-management and audit scheme. As a result of a successful participation the company will receive an official quality grade mark, declaring environmental items for its production site. It is expected that the introduction of eco-management schemes will have similar economical advantages as the implementation of quality management systems in the past.

"Sustainable Development" - Nachhaltiges Wirtschaften : Dieser Begriff ist nicht erst seit den großen UN-Konferenzen (Rio de Janeiro 1992, Berlin 1995) der Ausdruck für die Hoffnung auf einen schonenderen Umgang mit der Umwelt. Um dieses Ziel zu erreichen ist es unter anderem erforderlich, den Lebenszyklus (Forschung, Entwicklung, Produktion, Marketing, Nutzung und Entsorgung) von Produkten zu untersuchen und im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit, wenn nötig, zu verbessern. Im Bereich der Windkraftanlagen ist es unumstritten, daß die Phase der Nutzung wesentlich zu einer Verbesserung der Umweltbedingungen führt. Es läßt sich jedoch vermuten, daß für alle anderen Phasen noch nicht das Optimum erreicht ist. Im Rahmen dieses Artikels sollen zwei Lebensabschnitte des Produktes "Windkraftanlage" näher betrachtet werden: Zum einen die Phase der Entsorgung und zum anderen die Phase der Produktion.

1. Entsorgungsmöglichkeiten für die Materialien von Windkraftanlagen

1.1. Einleitung

Im Rahmen einer Diplomarbeit [1] wurde der Frage nachgegangen, inwieweit die umweltschonende Entsorgung in Form einer Wieder- und Weiterverwertung der bei der Herstellung einer Windkraftanlage verwendeten Materialien zur Zeit realisierbar ist.

Mit Hilfe einer Umfrage bei den Herstellern von Windkraftanlagen im In- und Ausland sollte zunächst ermittelt werden, welche Materialien und in welchem Umfang diese bei der Herstellung von Windkraftanlagen zum Einsatz kommen. Da die mangelnde Teilnahme der Hersteller keine statistisch signifikanten Aussagen zuließ, wurde eine rechnerische Abschätzung der verwendeten Materialien und deren Mengen vorgenommen. Aus dem gleichen Grunde konnte auch der momentane Status der Entsorgung durch die Herstellerumfrage nur unzureichend geklärt werden.

Anhand einer Literaturstudie werden im zweiten Teil der Arbeit für die beim Bau einer Windkraftanlage verwendeten Materialien mögliche Entsorgungswege aufgezeigt. Für Stoffe, deren Entsorgung bisher nicht zufriedenstellend gelöst ist, werden verschiedene Entsorgungs- und Wiederverwertungsszenarien dargestellt. Darüber hinaus wird die Umweltverträglichkeit der Entsorgungsmöglichkeiten hinterfragt. Soweit möglich wird ansatzweise der Einsatz von Ersatzmaterialien für die hinsichtlich ihrer Entsorgung problematischen Werkstoffe beschrieben.

Schließlich wird der sogenannte Erntefaktor für eine Windkraftanlage erweitert, der nun neben der zur Herstellung auch die zur Entsorgung benötigte Energie beinhaltet und diese ins Verhältnis zur erzeugten Energie stellt.

Diese Arbeit soll zum einen dem Deutschen Windenergie-Institut als Grundlage für weitere Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Entsorgung von Windkraftanlagen dienen. Überdies könnte die genauere Kenntnis der Entsorgungswege den Herstellern von Windkraftanlagen die Möglichkeit eröffnen, ihr Produkt in Hinblick auf eine umweltschonende Entsorgung zu optimieren. Bei Interesse besteht die Möglichkeit, die Arbeit in Form eines DEWI-Forschungsberichtes (DEWI-V-95003) zum Preis von DM 40,- zzgl. Mwst. am Deutschen Windenergie-Institut zu bestellen.

1.2. Materialien einer Windkraftanlage

Die bei den Herstellern von WKA durchgeführte Umfrage, die Aufschluß darüber geben sollte, welche Materialien und in welchem Umfang beim Bau einer WKA eingesetzt werden, läßt wegen mangelnder Beteiligung der Hersteller nur begrenzt statistisch signifikante Aussagen zu. Als Material werden überwiegend Beton und Stahl eingesetzt, in bedeutenden Mengen auch Glasfaser verstärkte Kunststoffe (GFK). Desweiteren kommen Oberflächenbeschichtungen, Kupfer, Aluminium, Fette/Öle, weitere Kunststoffen, Gummi, Bremsbeläge und Bremsflüssigkeit sowie zusätzlich eine nicht quantifizierbare Menge von Elektro- und Elektronikschrott zum Einsatz. Zukünftig ist auch von einem verstärkten Einsatz von Kohlenstoffaser verstärkten Kunststoffen (CFK) und Holz für die Rotorblätter auszugehen. Dieses zu entsorgende Materialaufkommen macht allerdings nur einen Bruchteil der gesamten in Deutschland anfallenden Abfallmenge aus: Der Anteil des Betons beläuft sich auf ca. 0,15% der Kategorie „Bodenaushub, Bauschutt, Straßenbruch“. Die abzüglich der Masse des Betons nach der Abschätzung verbleibende, zu entsorgende Masse beträgt 0,1% der Kategorie „Hausmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, Sperrmüll, Straßenkehricht, Marktabfälle“. Für die verschiedenen Materialgruppen werden in der Arbeit mögliche Entsorgungswege dargestellt.

1.3. Mögliche Entsorgungswege für die verschiedenen Materialien einer WKA

Die Wiederverwertung der Materialien Beton, Stahl, Kupfer und Aluminium stellt technisch kein Problem dar und wird in vielen Industriezweigen bereits vermehrt angewandt. Schwieriger sieht es dagegen mit dem Recycling von **Faserverbundkunststoffen** (FVK) aus. Die für die Herstellung von FVK für Rotorblätter einer WKA verwendeten duroplastischen Matrixmaterialien sind ungesättigte Polyesterharze und Epoxidharze. Duroplaste zersetzen sich oberhalb einer bestimmten Temperatur. Dies schließt ein Recycling durch Temperaturerhöhung und anschließende neue Formgebung aus. Als Verstärkungsmaterialien für die FVK werden Glasfasern und im weitaus geringerem Umfang Kohlenstoffasern verwendet.

Ein in der Zukunft mögliches *werkstoffliches* Recyclingverfahren für FVK ist das Partikelrecycling. Das Konzept dieses Verfahrens beruht auf einer geeigneten Zerkleinerung des ausgehärteten Bauteils, der Separierung der Mahlgutfraktionen und der erneuten Produktion eines FVK-Bauteils aus dem Mahlgut, als Füllstoff sowie frischem Harz und Glasfasern. Die erneute Produktion mit Hilfe einer heute üblichen Verfahrensweise führt jedoch aufgrund der Beschaffenheit des FVK-Materials zu Komplikationen.

Als *rohstoffliche* Recyclingverfahren für FVK eignen sich die Pyrolyse und die Hydrierung. Die Pyrolyse ist ein thermischer Zersetzungsvorgang bei 700-1.000 °C unter Ausschluß eines Vergasungsmittels, wobei große, komplexe oder vernetzte Moleküle in wasserstoffreiche Molekülbruchstücke umgewandelt werden.

Die Pyrolyse von FVK in einem Drehrohrofen mit anschließender Vergasung bei der VEBA OEL Technologie und Automatisierung GmbH ist heute schon möglich [2], wobei die Grenzwerte der 17. BImSchV dabei unterschritten werden [3],[4].

Die Hydrierung ist ein Verfahren zur Umsetzung von Stoffen (z. B. chemische Makromoleküle, Kohle) mit Hilfe von Wasserstoff unter einem Druck von ca. 300 bar und einer Temperatur von ca. 440-480

°C, wobei die Moleküle der Einsatzstoffe zerlegt und mit Wasserstoff abgesättigt werden. Die in den Ausgangsstoffen vorhandenen Heteroatome fallen nach ihrer Abspaltung als Wasser, Ammoniak etc. an. Daher kommt es nicht zur Entstehung von polycyclischen aromatischen Kohlenstoffen und Chlorverbindungen [5]. Bei der Hydrierung dürfen anorganische Stoffe nur bis zu einem Anteil von ca. 5% in den Einsatzstoffen enthalten sein. Ein Recycling von GFK ist mit Hilfe dieses Verfahrens deshalb zur Zeit ausgeschlossen, da sich die Glasfasern nicht im erforderlichen Umfang vom Matrixmaterial trennen lassen. Die Hydrierung eignet sich allerdings für CFK.

Als Alternative zu den Verfahren des Materialrecyclings ist eine energetische Verwertung des FVK in einer konventionellen Müllverbrennungsanlage möglich. Die gesetzlich in der 17. BImSchV und der TA-Siedlungsabfall festgelegten Grenzwerte werden von modernen Müllverbrennungsanlagen eingehalten [6]. Für einige bei der Verbrennung entstehende Stoffe (z.B. aufbereitete Schlacke, Gips) gibt es aufgrund ihrer Umweltverträglichkeit Einsatzmöglichkeiten als Baumaterial [6]. Zur Zeit werden immer noch 52% der FVK-Altteile deponiert [7]. Bei einer Deponierung unterbleibt die Nutzung sowohl des Materialwertes als auch des Energiewertes der FVK. Die Deponierung ist laut Abfallgesetz und zukünftigem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz als nachrangig nach der Verwertung zu betrachten und somit für die Zukunft keine Lösung. FVK verhalten sich allerdings unter den in einer Deponie bestehenden Bedingungen inert und umweltneutral.

Die Abbildung 1 verdeutlicht die Entsorgungsmöglichkeiten für FVK:

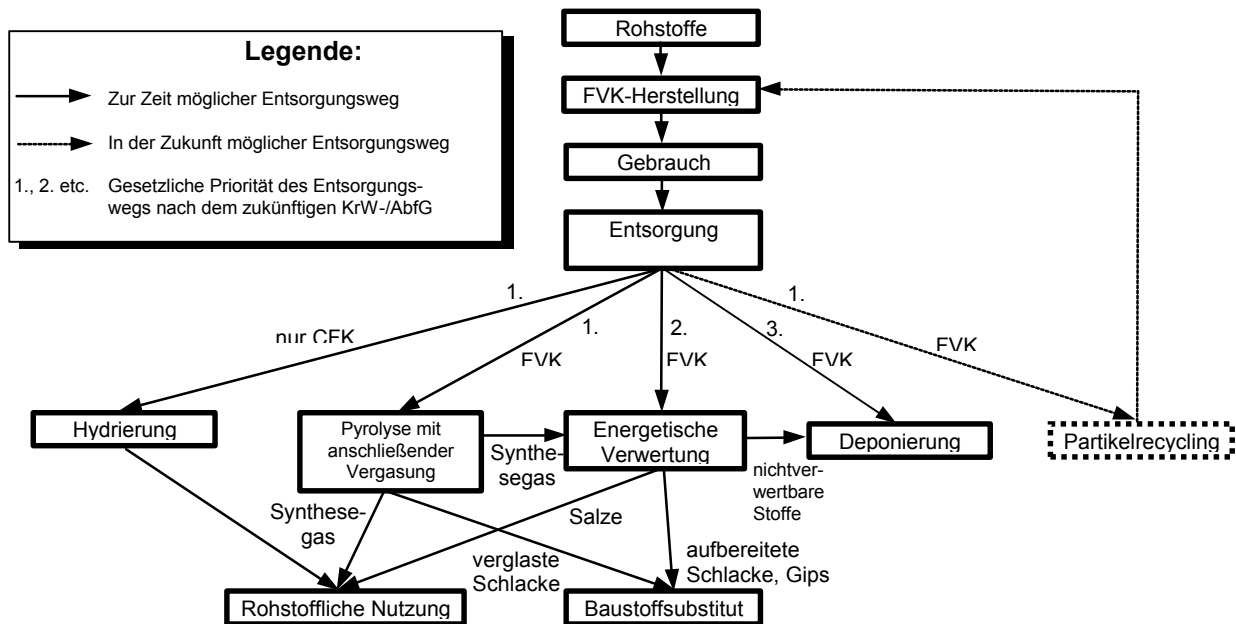


Abb. 1: Vereinfachtes Schema der Entsorgungsmöglichkeiten von Faserverbundkunststoffen [1]
 Fig. 1: Simplified diagram of the possibilities for the disposal of reinforced plastics [1]

Speziell in bezug auf eine Verwertung von GFK haben diese Verfahren jedoch den Nachteil, daß die Glasfasern nur in einer Weise verwertet werden, die dem ursprünglichen Wert der Glasfasern in keiner Weise entspricht. Für die FVK sind zur Zeit keine optimalen Entsorgungswege verfügbar. Daher ist zukünftig der Einsatz von Ersatzmaterialien, insbesondere Naturstoff-Fasern, z.B. Flachs und Nessel, zu prüfen. In Verbindung mit einer Kunststoff- oder biologisch abbaubaren Matrix wie Zucker, Stärke oder Zellulose bieten diese Materialien Vorteile wie geringe Abrasivität, unbegrenzte Verfügbarkeit und problemlose Entsorgung [8]. Im Rahmen der Arbeit [1] wurden auch die Verwertungsmöglichkeiten von elektrischen und elektronischen Geräten und Geräteteilen, von Altölen und PVC untersucht.

Um die Umweltverträglichkeit der Wiederverwertung und die Qualität der Sekundärprodukte aus Rezyklaten gefertigten Produkte zu gewährleisten bzw. zu verbessern, sollten folgende Vorgaben beachtet werden: Durch Vermeidung von Umweltschadstoffen bei der Produktion läßt sich der Schadstoffeintrag in die Produktkreisläufe vermindern. Bei der Produktion nicht vermeidbare Schadstoffe sind durch einen kontrollierten Abbruch der WKA weitgehend von den Einsatzstoffen für die Wiederverwertung zu trennen. Durch eine Kennzeichnung der Materialien bzw. deren Legierungen wird eine Separation erleichtert.

1.4. Neudefinition eines erweiterten Erntefaktors

Zur Abschätzung des erweiterten Erntefaktors einer Windkraftanlage wird der Energiebedarf für die Entsorgung der Materialien und die übrigen für die Entsorgung notwendigen Energien zum Nenner des herkömmlichen Erntefaktors addiert (Der Erntefaktor stellt den Energieertrag während der Lebenszeit ins Verhältnis zum Energiebedarf für die Produktion, den Transport usw.) :

$$EEHF = \frac{LZ \cdot (BB \cdot E_{\text{Ertrag}} - BF \cdot E_{\text{Ertrag}})}{E_{\text{WEK}} + E_{\text{Transp.}} + E_{\text{Infra.}} + E_{\text{Blaetter}} + E_{\text{Tauschgetr./Gen.}} + E_{\text{Turmanstr.}} + E_{\text{Ents.}}}$$

EEHF **erweiterter Erntefaktor** (extended-energy-harvest-factor).

LZ **Lebenszeit**. Es wird eine mittlere Lebenszeit von 20 Jahren angenommen.

BB **Betriebsbereitschaft** (Annahme: 90%)

E_{Ertrag} **Jahresenergieertrag** einer WKA. Der jährliche elektrische Energieertrag wurde mit einem thermischen Wirkungsgrad von 0,33 in die äquivalente Primärenergie umgerechnet.

BF **Eigenenergiebedarf**. (Annahme: 1% des Jahresenergiebedarfs)

E_{WEK} **Gesamtenergiebedarf zur Produktion** einer WKA.

$E_{\text{Transp.}}$ **Transportenergiebedarf und Energiebedarf zur Erstellung der Baugrube**.

$E_{\text{Infra.}}$ **Leistungsspezifischer Energiebedarf für die Infrastruktur**. (Annahme: 0,62 GJ/kW)

$E_{\text{Blaetter}}, E_{\text{Tauschgetr./Gen.}}, E_{\text{Turmanstr.}}$

Für **Wartungsarbeiten** wie Blätter-, Getriebe-, und Generatortausch (Annahme: zusammen 6% des Jahresenergieertrags).

$E_{\text{Ents.}}$ Zur **Entsorgung** benötigte Energien.

Wird die Energieeinsparung durch die Verwendung von Sekundärrohstoffen aus dem Bilanzierungsraum ausgenommen, so verringert sich der Erntefaktor für eine 450 kW-WKA von 45,5, bzw. 114 ([9], in Abhängigkeit der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit und der Annahmen für den Gesamtenergiebedarf zur Produktion) auf 38 bis 84 ([1], wiederum in Abhängigkeit von der angenommenen Windgeschwindigkeit und des Energiebedarfs für die Herstellung der WKA).

Beim Vergleich des erweiterten Erntefaktors einer 450 kW-Windkraftanlage mit dem herkömmlichen Erntefaktoren der anderen Energiewandlungsanlagen schneidet die WKA sehr gut ab. Für einen korrekten Vergleich wäre allerdings auch die Angabe der zur Entsorgung nötigen Energien anderer Energiewandlungsanlagen erforderlich. Hinzu kommt, daß bei dem Vergleich der ökonomischen und ökologischen Qualität von Energiewandlungsanlagen anhand des herkömmlichen Erntefaktors der enorme Betriebsenergieverbrauch von konventionellen Energiewandlungsanlagen (z. B. Steinkohle für Steinkohlekraftwerke) nicht berücksichtigt wird. Die Einbeziehung des Betriebsenergieverbrauchs in den Nenner des Erntefaktors führt zu einem sogenannten Gesamterntefaktor. Der Gesamterntefaktor von Steinkohlekraftwerken und Kernkraftwerken beläuft sich nach Hagedorn und Ilmberger [10] auf 0,35 bzw. 0,30. Bei den regenerativen Energiewandlungsanlagen entspricht der Gesamterntefaktor dagegen dem Erntefaktor. Mit einem Gesamterntefaktor von 38 bis 84 ergibt dies eine Spitzenstellung für WKA.

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, daß selbst ein optimiertes Recycling nur die zweitbeste Lösung zum behutsameren Umgang mit unserer Umwelt darstellen kann. An erster Stelle muß entsprechend der abfallrechtlichen Richtlinien immer die Vermeidung von Abfällen stehen. Dies läßt sich mit der Verringerung der Produktionsabfälle durch optimierte Herstellungsverfahren, Verbesserung der Reparatur- und Austauschmöglichkeiten einzelner Anlagenkomponenten und einer Verlängerung der Produktlebensdauer erreichen.

2. Die EG-Öko-Audit-Verordnung

Einen weiteren Schritt in Richtung des nachhaltigen Wirtschaftens ("Sustainable Development") hat der Rat der Europäischen Gemeinschaft im Juni 1993 durch die Verordnung Nr. 1836/93 [11] (besser bekannt als EG-Öko-Audit-Verordnung) in die Wege geleitet. Nach einigen Schwierigkeiten wurde diese Verordnung in diesem Frühjahr auch in Deutschland in nationales Recht umgesetzt und bietet nunmehr den gewerblichen Unternehmen die Möglichkeit, sich auf freiwilliger Basis an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung zu beteiligen. Als Ergebnis einer erfolgreichen Beteiligung erhält das Unternehmen ein Gütesiegel für seinen Produktionsstandort und kann mit diesem offiziellen Zeichen werben. Ähnlich wie die Einführung von Qualitätssicherungssystemen zu Wettbewerbsvorteilen geführt hat, ist auch aus der Einführung eines Umweltmanagementsystems ein Vorteil am Markt zu erwarten. Zusätzlich führt ein nachhaltiges Wirtschaften zu Einsparungen an Material, Energie und Wasser sowie zu einer Minderung des Unfallrisikos.

Der Weg zum EG-Öko-Audit-Gütesiegel

Zunächst sollte auf höchster Managementebene eine Umweltpolitik für das gesamte Unternehmen festgelegt werden. Die Beschäftigung des Managements mit der Umweltpolitik ist allein deshalb erforderlich, weil nur so gewährleistet ist, daß Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltsituation im Unternehmen auch wirklich in die Tat umgesetzt werden. Der Einstieg in die praktische Umweltbetriebsprüfung erfolgt dann konkret an einem Produktionsstandort durch eine erste Umweltprüfung und die Aufnahme des Ist-Zustandes. Diese Prüfung kann sowohl von betriebsinternen Personen (z.B. dem Umweltbeauftragten) als auch von externen Beratern durchgeführt werden. Aus den Ergebnissen dieser ersten Untersuchung wird dann ein Umweltmanagementsystem (UMS) entwickelt, das ähnlich wie ein Qualitätsmanagementsystem (QMS) Strukturen im Unternehmen schaffen soll, die bestimmte betrieblichen Abläufe festlegen und deren Überprüfung gewährleisten. Wesentlicher Bestandteil eines Umweltmanagementsystems ist die wiederholte Durchführung interner Umweltbetriebsprüfungen (sog. Öko-Audit) durch interne oder externe Betriebsprüfer (Umweltauditor). Aufgrund der Umweltbetriebsprüfung werden Umweltziele definiert und ein Umweltprogramm entwickelt, welches die kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes zum Ziel hat. Aus der Umweltbetriebsprüfung resultierend kann eine standortspezifische Umwelterklärung erstellt werden, die gegenüber der Öffentlichkeit die Umweltsituation am Produktionsstandort darstellt. Als Mindestanforderungen an die Umwelterklärung gelten u.a. [11]:

- Beschreibung der Tätigkeiten des Unternehmens an dem betreffenden Standort,
- Beurteilung aller wichtigen Umweltfragen im Zusammenhang mit den betreffenden Tätigkeiten,
- Zusammenfassung der Zahlenangaben über Schadstoffemissionen, Abfallaufkommen, Rohstoff-, Energie- und Wasserverbrauch und ggf. über Lärm und andere umweltrelevante Aspekte,
- sonstige Faktoren, die den betrieblichen Umweltschutz betreffen,
- Darstellung der Umweltpolitik, des Umweltprogramms und des Umweltmanagementsystems.

Diese Umwelterklärung wird von einem zugelassenen unabhängigen Umweltgutachter geprüft und ggf. für gültig erklärt. Zusätzlich überprüft der Umweltgutachter, ob die betriebliche Umweltpolitik, das Umweltprogramm, das Umweltmanagementsystem, die Umweltbetriebsprüfung und die Prüfungsverfahren mit den Vorgaben der EG-Öko-Audit-Verordnung übereinstimmen. Werden alle Anforderungen erfüllt, wird die gültige Umwelterklärung an die zuständige Stelle (Industrie- und Handelskammern, bzw. Handwerkskammer) übermittelt, wo der geprüfte Standort in ein Verzeichnis eingetragen wird, welches im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft veröffentlicht wird. Im Anschluß daran erhält das Unternehmen das oben erwähnte Gütesiegel

über die erfolgreiche Teilnahme gemäß EG-Öko-Audit-Verordnung, das auf Umwelterklärungen, Broschüren, Berichten und Briefen verwendet werden kann. Für die Produktwerbung, z.B. direkt auf einem Erzeugnis ist die Verwendung des Gütesiegels jedoch nicht zugelassen. Die Umweltbetriebsprüfung wird nach spätestens 3 Jahren wiederholt und führt zu einer neuen Umwelterklärung; in der Zeit zwischen den Umweltbetriebsprüfungen wird jährlich eine vereinfachte Umwelterklärung erstellt.

3. Zusammenfassung

An dieser Stelle sollen noch einmal die beiden Möglichkeiten aufgezeigt werden, die zu einer Verbesserung der Umweltsituation im Allgemeinen und in der Industrie im Besonderen führen können. Zunächst gibt es die Möglichkeit, den kompletten Produktlebenszyklus einer Windkraftanlage zu untersuchen und ähnlich einer "Ökobilanz" darzustellen. Diesen Weg beschreitet das DEWI zur Zeit, indem es einen entsprechenden Antrag auf europäischer Ebene gestellt hat. Für die Phase nach der Nutzung wurden in der erwähnten Diplomarbeit [1] verschiedene Entsorgungsmöglichkeiten bereits dargestellt.

Für die Phase der Produktion wurde durch die EG-Öko-Audit-Verordnung ein Instrument geschaffen, das die Umweltsituation im Unternehmen selbst in den Vordergrund stellt und neben bereits existierenden rechtlichen Ver- und Geboten (z.B. Gefahrgutverordnungen) die Eigenverantwortung der Industrie für ein nachhaltiges Wirtschaften betont. Auch mit dieser Thematik wird sich das DEWI zukünftig verstärkt beschäftigen und den Unternehmen der Windkraftanlagen-Industrie beratend zur Seite stehen. Für weitere Rückfragen zum Thema "EG-Öko-Audit-Verordnung" steht deshalb Dipl.-Ing. Christian Hinsch im DEWI unter 04421/4808-31 zur Verfügung.

4. Literatur

- [1] Schetelich, Rainer: Untersuchung zur Erfassung der Entsorgungsmöglichkeiten der Komponenten von Windkraftanlagen: Diplomarbeit: Fachhochschule Wilhelmshaven, Deutsches Windenergie-Institut, 1995.
- [2] Redepenning, K.-H., VEBA OEL Technologie und Automatisierung GmbH: Antwortschreiben auf eine telefonische Anfrage, 1995.
- [3] Redepenning, K.-H., VEBA OEL Technologie und Automatisierung GmbH: Fax, 1995.
- [4] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe - 17. BImSchV) vom 23. November 1990 (BGBl. 1 S. 2545), berichtigt am 13. Dezember 1990 (BGBl. 1 S. 2832).
- [5] Löffler, W.; Mertens-Gottselig, D.: „Kunststoff zu Öl“: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 4 (1989), S. 219-221.
- [6] Blume, Hartwig: „Thermische Abfallbehandlung : Die klassische Restmüllverbrennung und die alternativen Verfahren“: Entsorgungstechnik, Oktober 1994, S. 16-20.
- [7] Bartkowski, K.-D.; Wesslein, M.: Ein Schritt zur Verwertung : Materialrecycling bei SMC-Abfällen: Bretten 1990.
- [8] Kensch, Ch. W.: „Werkstoff- und Bauweisenaspekte beim Bau von Rotorblättern“: Tagungsband der DEWEK '94, Teil 1: Deutsches Windenergie-Institut GmbH (Hrsg.): Wilhelmshaven 1994, S. 71-77.
- [9] Pernkopf, Mark: Ermittlung des Gesamtenergiebedarfs zur Errichtung eines betriebsbereiten Windenergiekonverters: Studienarbeit: Institut für Flugzeugbau der Universität Stuttgart, 1991.
- [10] Hagedorn, Gerd; Ilmberger, Florian: Kumulierter Energieverbrauch für die Herstellung von Windkraftanlagen : Endbericht, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, August 1991.
- [11] Verordnung (EWG) Nr. 1836/93 des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung : aus Umweltschutz - ein Wirtschaftsfaktor : Umweltbundesamt: Berlin, 1994.