



Abb. 1: Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner

RUB-Ingenieure erstellen erstmals eine Ökobilanz für einen Offshore-Windpark

GRÜNER STROM VON HOHER SEE

Windkraftanlagen sind im Betrieb verglichen mit Kohlekraftwerken wesentlich umweltfreundlicher. Das ist unbestritten. Aber Herstellung und Aufbau eines Windparks verbrauchen jede Menge Energie. Lohnt es sich trotzdem, in die regenerativen Energien zu investieren? Und wenn ja, wie lang muss man per Windkraft Strom erzeugen, bevor sich die Anlage aus Sicht der Umwelt amortisiert? Als erste weltweit haben RUB-Ingenieure diese Fragen für einen Offshore-Windpark beantwortet – mit einer Ökobilanz für „alpha ventus“.

„Alpha ventus“ war der erste deutsche Offshore-Windpark und liegt in der Nordsee, 45 Kilometer von Borkum entfernt. Zwölf Anlagen von zwei verschiedenen Herstellern wandeln hier Windkraft in Strom um. Bevor der Park 2010 seinen Betrieb aufnahm, berechnete das Team um Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner vom Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft (Abb. 1) seine Ökobilanz. Heute können die Ingenieure einschätzen, wie treffend ihre Rechnungen waren.

„In der Ökobilanz betrachten wir den gesamten Prozess von der Wiege bis zur Bahre“, erklärt Hermann-Josef Wagner. „Für ‚alpha ventus‘ bedeutet das: Wie viel Energie braucht man, um das ganze Material für den Park herzustellen, die Komponenten zu fertigen, an ihren Standort zu transportieren, aufzubauen, zu warten und eines Tages wieder abzubauen, und wie viele Schadstoffe entstehen in diesem Prozess?“ Dem gegenüber stellen die Ingenieure, wie viel Energie beziehungsweise Schadstoffe man einspart, indem man Strom mit „alpha ventus“ und nicht mit Kohlekraftwerken oder dem deutschen Strommix herstellt. Zurzeit besteht der Strommix zu 16 Prozent aus Kernenergie und zu 23 Prozent aus regenerativen Energien; der Rest wird in Kohle- und Erdgaskraftwerken gewonnen. Finanzielle Aspekte gehen nicht in die Rechnung ein. „Das Ding mit der

besten Ökobilanz kann wirtschaftlich eine Katastrophe sein“, weiß Wagner.

Für die Analyse müssen die Ingenieure jedes Detail berücksichtigen; da heißt es Überblick bewahren. Die Ökobilanz von „alpha ventus“ umfasst sechs große Bereiche: die Windkraftanlagen, ihre Fundamente – Gründungen genannt –, die Verkabelung innerhalb des Windparks, das Offshore-Umspannwerk, die Seekabel sowie das Umspannwerk an Land (Abb. 2). Diese Komponenten wiederum zerlegten die RUB-Wissenschaftler in all ihre Bestandteile. Professor Wagner gibt ein Beispiel: „Wenn eine Windkraftanlage einen elektrischen Generator hat, müssen wir wissen, wie viel Eisen, Kupfer und sonstige Materialien dieser enthält, wie die Materialien veredelt sind, wie viel Energie es braucht, um die Materialien herzustellen und daraus einen Generator zu wickeln, und wie viel Emissionen dabei entstehen.“ Für Standardbauteile finden sich Angaben für Energieaufwand und Schadstoffausstoß in großen Datenbanken; für Spezialteile müssen sie zunächst bestimmt werden, was oft nur mit Hilfe der Hersteller möglich ist.

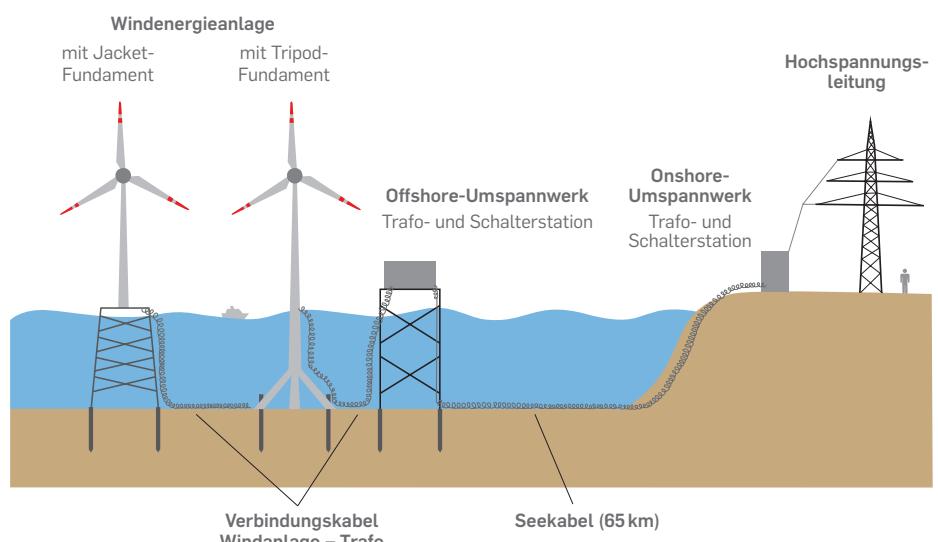


Abb. 2: Komponenten eines Offshore-Windparks

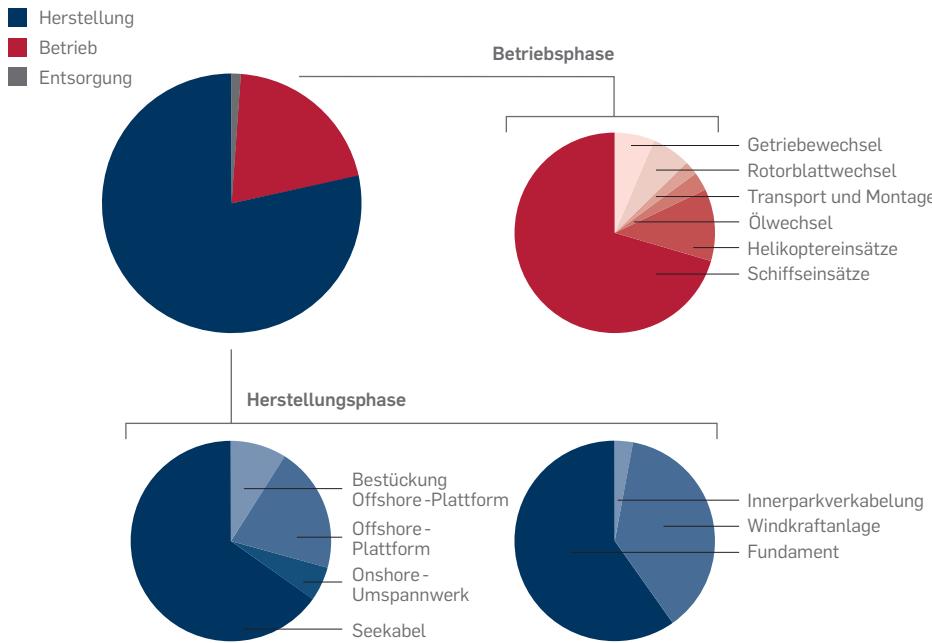


Abb. 3: So viel Energie verbraucht der Windpark „alpha ventus“ in seinen drei Lebenszyklusphasen (links oben). Gezeigt ist der kumulative Energieaufwand. Rechts oben ist der Energiebedarf für die Betriebsphase genauer aufgeschlüsselt. Unten sind verschiedene Komponenten gezeigt, die zum kumulativen Energieaufwand der Herstellungsphase beitragen. Die Offshore-Plattform (links unten) ist ein großes Stahlgerüst. Darauf sind die elektrischen Transformatoren und Schaltanlagen installiert (Bestückung), die es ermöglichen, den Strom aus den Windanlagen über das Seekabel an Land zu transportieren. Dort wird er im Onshore-Umspannwerk wieder an die Spannungsbedingungen der Hochspannungsleitungen an Land angepasst. Unten rechts dargestellt sind die Komponenten einer einzelnen Multibrid M5000-Windenergieanlage inklusive Fundament und Kabel von der einzelnen Windanlage zur Offshore-Plattform.

In die Ökobilanz geht dabei der Wert für die Primärenergie ein. Verbraucht man zum Beispiel eine Kilowattstunde Strom aus der Steckdose für die Herstellung eines Kabels, beziehen die Forscher auch mit ein, wie viel Energie es gekostet hat, diese Kilowattstunde Strom zu erzeugen. Wurde die Energie etwa aus Kohle gewonnen, musste diese zunächst aus dem Boden ge-

fördert, weitertransportiert und verarbeitet werden. „Wir arbeiten also mit einem Maß dafür, wie viel Energie wir der Natur insgesamt in Form von Kohle, Öl oder Gas weggenommen haben“, erklärt Wagner. Man spricht dann auch von kumulativem Energieaufwand.

Zunächst verglichen die Forscher den kumulativen Energieaufwand für die drei Lebenszyklusphasen des Parks: Herstellung, Betrieb und Abbau (Abb. 3). Während der Abbau die mit Abstand energieärmste Phase des Lebenszyklus ist, schlägt der Betrieb immerhin mit 20 Prozent des gesamten Energieaufwands zu Buche – hauptsächlich aufgrund von wartungsbedingten Schiffs- und Helikoptereinsätzen. Gut Dreiviertel des kumulativen Energieaufwandes entfallen auf die Herstellungsphase, also Materialproduktion und Aufbau. Diesen Wert zerlegte Wagners Team in weitere Komponenten. In der Herstellungsphase fließen etwa 80 Prozent des Energieaufwandes in die Herstellung und den Aufbau der Windanlagen und ihre Verkabelung im Park. Knapp 20 Prozent entfallen auf das Offshore-Umspannwerk mit seinen Schaltanlagen sowie das Kabel, das zum Festland führt. Dort wird der erzeugte Windstrom über eine weitere Umspannanlage ins Hochspannungsnetz eingespeist.

Die Ingenieure zerlegten die Bilanz noch weiter und betrachteten verschiedene Komponenten des Offshore-Parks (Abb. 3). Dabei fanden sie etwa heraus, dass die Herstellung des Fundaments der Windkraftanlagen (Abb. 4) energieintensiver ist als die Herstellung der Windkraftanlage selbst. „Es hat sich gezeigt, dass die großen dicken Brummer, die die Ökobilanz bestimmen, die Stahlmengen sind, die in ‚alpha ventus‘ verbaut sind“, resümiert Professor Wagner. Etwa 87 Prozent einer Windkraftanlage mit Kabel und Fundament bestehen aus Stahl. „Die Anlagen sitzen in 35 Meter tiefem Wasser in trichterförmigen oder turmförmigen Gerüsten, die wiederum mit mehreren Stahlrohren im Boden verankert sind“, so der Ingenieur.

Auf gleiche Weise analysierten die Wissenschaftler auch den Schadstoffausstoß, genauer gesagt das Treibhausgaspotential, also die Emissionen, die die Klimaerwärmung ankurbeln; die Ergebnisse entsprachen den oben beschriebenen für den kumulativen Energieaufwand. Zusätzlich

■ info

WINDKRAFT VS. SOLARENERGIE

Als energetische Amortisationszeit bezeichnet man die Zeit, die eine Anlage in Betrieb sein muss, um ihren kumulativen Energieaufwand wieder einzufahren, also die Energie, die man zum Beispiel in Herstellung und Wartung investieren muss. Ist eine Windkraftanlage einmal in Betrieb, produziert sie wesentlich mehr Energie, als sie verbraucht. Laut Berechnungen von Wagners Team amortisiert sich der Offshore-Park „alpha ventus“ innerhalb von knapp einem Jahr. Für Solaranlagen beträgt die Amortisationszeit hingegen bis zu drei Jahre. Das liegt an der speziellen Technik der Photovoltaikanlagen. Die Basis für die Solarzellen sind hauchdünne Siliziumscheiben, sogenannte Wafer. Die Wafer aus hochreinem Silizium herzustellen verbraucht immense Mengen Energie. Damit steigt auch die Menge der Schadstoffemissionen, die mit der Produktion von Solarzellen einhergeht.



Abb. 4: Eine Windkraftanlage im Offshore-Park „alpha ventus“ (links) braucht ein starkes Fundament (rechts), auch Gründung genannt.

erhoben sie die Emissionen von vier weiteren Arten von Schadstoffen: solche mit Eutrophierungspotenzial, die ein Überangebot an Nährstoffen in Boden und Gewässern bewirken; säurebildende Emissionen, die etwa zu saurem Regen beitragen; Photooxidantien wie Ozon, die Smog erzeugen; und humantoxische Stoffe, die die menschliche Gesundheit schädigen. Dann verglichen sie alle Werte von „alpha ventus“ mit denen für den deutschen Strommix (Abb. 5). Das sorgte für eine Überraschung. „Alpha ventus“ war dem Strommix bei allen Indikatoren überlegen – bis auf einen: „Die Humantoxizität war pro Kilowattstunde Windstrom größer als pro Kilowattstunde Strommix“, erzählt Wagner. „Wir haben erst einmal geglaubt, wir hätten uns verrechnet.“

Aber die Zahlen stimmten, und die Erklärung lag schnell auf der Hand. Der schädliche Stoff entsteht bei der Produktion von Stahl, und davon beinhalten Windkraftanlagen bezogen auf die erzeugte Elektrizitätsmenge wesentlich mehr als ein kompaktes Kohlekraftwerk. Eine einzelne Windkraftanlage im Meer wiegt 300 Tonnen; etwa 260 Tonnen davon sind Stahl. „Man muss akzeptieren, dass die Windenergie an der ein oder anderen Stelle nicht unbedingt besser dasteht als der Strommix“, meint Hermann-Josef Wagner. „Bei allen anderen Indikatoren sieht es für die Windkraft hervorragend aus.“ Außerdem sei die Menge des humantoxischen Schadstoffs zwar höher als beim Strom-

mix, aber immer noch sehr klein in absoluten Zahlen.

Aus energetischer Sicht hat sich „alpha ventus“ inzwischen längst amortisiert. Die Ökobilanz der RUB-Ingenieure hatte vorausgesagt, dass es sich spätestens nach einem Jahr Laufzeit lohnt, Strom mit dem Offshore-Park anstatt mit dem deutschen Strommix herzustellen – wesentlich schneller als mit Solaranlagen (Info). „Und wir haben sogar pessimistisch gerechnet“, ergänzt Wagner. Denn nach zwei komplet-

ten Jahren Laufzeit zeigt sich, dass „alpha ventus“ mehr Strom produziert, als in der Ökobilanz angenommen; 2011 und 2012 waren es 13 beziehungsweise 14 Prozent mehr. Ganz so gewinnbringend wird es 2013 voraussichtlich aber selbst bei gleich gutem Windangebot nicht weitergehen. Denn es stehen verschiedene Wartungsarbeiten an, die die Stromerzeugung etwas bremsen werden. Trotzdem: Jede weitere mit „alpha ventus“ produzierte Kilowattstunde Energie schont die Umwelt. jwe

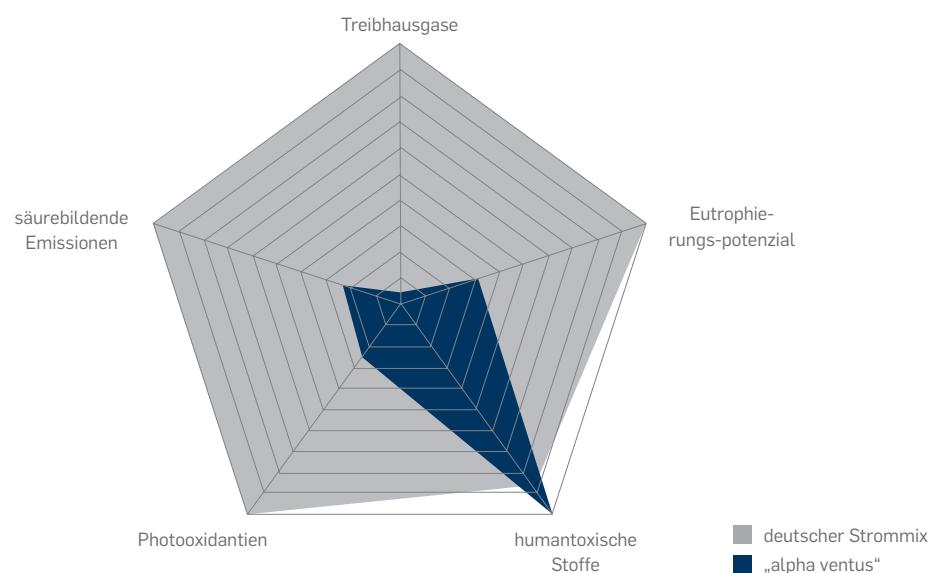


Abb. 5: Umweltrelevante Emissionen für den Windpark „alpha ventus“ im Vergleich zum deutschen Strommix. Der Windpark ist dem Strommix nur in puncto humantoxischen Stoffen unterlegen.

■ Impressum

Herausgeber

Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Astrid Deuber-Mankowsky (Fakultät für Philologie), Prof. Dr. Reinhold Glei (Fakultät für Philologie), Prof. Dr. Achim von Keudell (Fakultät für Physik und Astronomie), Prof. Dr. Ulrich Kück (Fakultät für Biologie), Prof. Dr.-Ing. Ulrich Kunze (Fakultät für Elektrotechnik u. Informationstechnik), Prof. Dr. Alfred Ludwig (Fakultät für Maschinenbau), Prof. Dr. Denise Manahan-Vaughan (Medizinische Fakultät), Prof. Dr. Käte Meyer-Drawe (Fakultät für Philosophie und Erziehungswissenschaft), Prof. Dr. Christian Tapp (Katholisch-Theologische Fakultät), Prof. Dr. Klaus T. Überla (Medizinische Fakultät), Prof. Dr. Jörg Winter (Prorektor für Forschung)

Redaktion

Dr. Julia Weiler, jwe (Redaktionsleitung); Dr. Maren Volkmann, mv; Tabea Steinbauer, tst; Meike Drießen, md; Dr. Barbara Kruse, bk; Marion Nelle (Bildredaktion); Christian Busche (Webauftritt); Andreas Rohden (Webauftritt)

Bildnachweis

S. 10, Abb. 3: Reprinted (Adapted) from Neuron, 40/3, Pleger, Foerster, Ragert, Dinse, Schwenkreis, Malin, Nicolas, Tengenhoff, Functional Imaging of Perceptual Learning in Human Primary and Secondary Somatosensory Cortex, 643-653, Copyright (2003), with permission from Elsevier; S. 17, Abb. 3: Lars Bog; S. 18, Abb. 4: Primap.com; S. 20, Abb. Info: Dirk Steinböfel; S. 24, Abb. 3: IKEA-Servicenummer 06192-9399999/Inter IKEA Systems B.V. 2013; S. 28, Abb. 3: iStock; S. 36, Abb. 4 und S. 37, Abb. 5: Adapted with permission from ACS Chemical Biology, „Wenzel, Patra, Senges, Ott, Stepanek, Pinto, Prochnow, Vuong, Langklotz, Metzler-Nolte, Bandow: Analysis of the Mechanism of Action of Potent Antibacterial Hetero-tri-organometallic Compounds: A Structurally New Class of Antibiotics“. Copyright (2013) American Chemical Society; S. 39, Abb. 1: iStock; S. 45, Abb. 4 links: Matthias Ibeler, DOTI, 2010; S. 45, Abb. 4 rechts: Offshore-Stiftung, Multibrid, Jan Oelker, 2009; S. 46,

Abb. 2: Wikimedia Commons/Public domain, User Matt Crypto; S. 49, Abb. 5: iStock

Auflage

4000
vmm Wirtschaftsverlag GmbH&Co. KG, Maximilianstraße 9, 86150 Augsburg, Kathrin Reichherzer, Tel. 0821/4405-432, www.vmm-wirtschaftsverlag.de

Anzeigenverwaltung und -herstellung

vmm Wirtschaftsverlag GmbH&Co. KG, Maximilianstraße 9, 86150 Augsburg, Kathrin Reichherzer, Tel. 0821/4405-432, www.vmm-wirtschaftsverlag.de

Bezug der Zeitschrift

RUBIN ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum zum Einzelpreis von 4 Euro. Jahresabonnement (zwei Hefte inkl. Porto/Jahr): 7 Euro. Das Wissenschaftsmagazin RUBIN erscheint zweimal im Jahr, ein Teil der Auflage als Beilage zur Universitätszeitschrift RUBENS.

ISSN 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zuschreiben von Belegexemplaren

RUBIN ABONNIEREN

Immer das Neueste aus der Forschung der Ruhr-Universität Bochum: Das bietet RUBIN zweimal jährlich. Wir schauen in die Labors und Bibliotheken, besuchen die Werkhallen und nehmen Sie mit allgemeinverständlichen Berichten mit in die Welt der Wissenschaft.

Als RUBIN-Abonnent/in verpassen Sie keine Ausgabe. RUBIN kommt jedes Frühjahr und jeden Herbst per Post zu Ihnen nach Hause. Abonnieren Sie RUBIN (Einzelpreis 4 Euro) zum Preis von 7 Euro jährlich (inklusive Porto).

Online-Bestellung: www.rub.de/rubin/rubin-abo

Bestell-Hotline: 0234/32-22830

Bestell-Adresse: Ruhr-Universität Bochum, Dezernat Hochschulkommunikation, 44780 Bochum



ABO-BESTELLUNG RUBIN

Hiermit bestelle ich das Wissenschaftsmagazin RUBIN zum Preis von 7,- Euro jährlich (inklusive Porto).

Lieferadresse

Titel _____ Name _____

Straße _____

PLZ _____ Stadt _____

Datum _____ Unterschrift _____

Abonnementbedingungen

Die Jahresrechnung wird mit dem ersten Heft per Post zugestellt. Das Abonnement ist kündbar zum Ende eines Kalenderjahres. Die Kündigung muss spätestens zwei Wochen vor Ende des Kalenderjahres schriftlich mitgeteilt werden. Das Abonnement verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, sofern es nicht bis zum Ende des laufenden Jahres gekündigt wird.

Widerrufsrecht

Mir ist bekannt, dass ich diese Bestellung innerhalb von 14 Tagen schriftlich bei der Ruhr-Universität Bochum, Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion RUBIN, 44780 Bochum, widerrufen kann und dass zur Wahrung der Frist die rechtzeitige Absendung des Widerrufs genügt.