



Sichere Lösung

Killerargumente widerlegen (6): »Photovoltaik gefährdet die Gesundheit«

In der Solarzellenproduktion kommt zwar eine Reihe von giftigen Stoffen zum Einsatz. Doch die findet man auch zum Beispiel bei der Herstellung eines Mikrochips. Hohe Sicherheitsstandards sorgen in der Photovoltaik genauso wie in der Halbleiterindustrie dafür, dass die Gesundheit nicht gefährdet wird. Auch der Elektromog von Solarstromanlagen ist so gering, dass sich baubiologische Richtwerte leicht einhalten lassen.



Olaf Wulff/Hickel für Solar-Verlag

Die mittlerweile insolvente Antec Solar GmbH produzierte Cadmium-Tellurid-Module in einem geschlossenen System mit Unterdruck (Foto), damit keine Cadmium-Verbindungen in die Produktionshalle gelangen. Das gleiche Verfahren wendet der amerikanische Hersteller First Solar an.

Wenn Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe im Unterrichtsbuch »Physik 10 A« den Abschnitt über Solarzellen lesen, könnten sie glatt auf die Idee kommen, die Photovoltaikindustrie sei eine einzige Giftküche. Bei der Produktion, heißt es in dem Schulbuch, fielen »leider auch nicht unerhebliche Mengen an chemischen Giftstoffen wie Cadmium und Arsen an, deren Verarbeitung neue Probleme aufwirft«. Wird Solaranlagen also bei ihrer Herstellung erst einmal ein kräftiger Giftcocktail verabreicht, bevor sie sauber – ohne Lärm und Emission von Schadstoffen – Strom erzeugen können?

Die Antwort auf diese Frage ist nicht so simpel, wie es das Physikbuch aus dem Oldenbourg-Verlag nahelegt. Das giftige Arsen zum Beispiel kommt im Halbleiter Galliumarsenid vor, der in der Elektronik vor allem für Leuchtdioden und Laser eingesetzt wird. Als Ausgangsmaterial zur Herstellung dient unter anderem Arsenwasserstoff (Arsin), ein sehr giftiges und hochentzündliches Gas – ebenso wie Phosphorwasserstoff (Phosphin), der für die Halbleiter Gallium-Arsenid-Phosphid und Gallium-Indium-Phosphid benötigt wird. Solche gefährlichen Gase erfordern einen hohen Sicherheitsaufwand. In Zukunft könnten sie durch die weniger problematischen Flüssigkeiten Tertiärbutylarsin (TBA) und -phosphin (TBP) ersetzt werden. Für Solarzellen ist Galliumarsenid deshalb interessant, weil es Wirkungsgrade über 25 Prozent ermöglicht. Doch der Halbleiter ist sehr teuer; zu photovoltaischen Zwecken wird er deshalb fast ausschließlich im Weltraum sowie in Forschungslabors verwendet. Für Solaranlagen auf der Erde kommt er nur in Frage, wenn das einfallende Sonnenlicht durch vorgehängte Brechungslinsen stark konzentriert wird, so dass die teuren Solarzellen nur wenige Quadratmillimeter groß sein müssen. Bei der weltweit installierten Solarstromleistung spielt Galliumarsenid heute jedoch keine Rolle.

Cadmium im geschlossenen System

Mehr Diskussionen als Galliumarsenid haben bisher Dünnschicht-Module aus Cadmium-Tellurid ausgelöst. Das Schwermetall Cadmium, ein Nebenprodukt beim Abbau von Zink, ist nicht nur giftig, sondern auch als krebserzeugend und erbgut-

verändernd eingestuft. Tellur, das hauptsächlich aus dem Anodenschlamm bei der Reinigung von Rohkupfer gewonnen wird, ist immerhin gesundheitsschädlich, weil es die Augen und Atmungsorgane reizt. Weniger erforscht sind die Auswirkungen der nicht wasserlöslichen Halbleiterverbindung Cadmium-Tellurid. In Tierversuchen war sie giftiger als Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) und Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS), zwei andere aussichtsreiche Kandidaten für Dünnschicht-Solarzellen; ein Vergleich mit Cadmium selbst fehlt jedoch. Cadmium-Tellurid-Module enthalten auch einen Film aus Cadmiumsulfid. Aktiviert wird der Halbleiter mit Cadmiumchlorid, das als krebserzeugend eingestuft ist.

Die inzwischen insolvente Antec Solar GmbH im thüringischen Arnstadt produzierte die Module in einer geschlossenen Kammer mit Unterdruck, damit keine Cadmium-Verbindungen in die Produktionshalle gelangen. Auch der amerikanische Hersteller First Solar verfolgt eine ausgeprägte Sicherheitsphilosophie. Das Unternehmen hat in seiner Cadmium-Tellurid-Pilotproduktion in Perrysburg im Bundesstaat Ohio seit Anfang der 90er Jahre bei jene 22 Angestellten, die in unmittelbarer Nähe der Prozesslinie arbeiten, Blut- und Urinproben zunächst bei Stellenantritt und erneut nach einigen Jahren nehmen lassen. Die Auswertung an einem toxikologischen Labor in Los Angeles ergab: Viele Werte lagen unterhalb der methodischen Nachweisgrenze und wichen so wenig zwischen Erst- und Zweitprobe ab, dass sich keine statistisch signifikante Änderung feststellen ließ. Dafür hätte man auch mehr als 22 Testpersonen gebraucht. Alle gemessenen Cadmium-Konzentrationen waren jedenfalls deutlich niedriger als die offiziellen Grenzwerte; bei Rauchern fielen sie höher aus als bei Nichtrauchern.

Auch Hunderte von Schadstoffmessungen in der Produktionshalle lieferten im normalen Betrieb nur Cadmium-Werte unter 0,1 Mikrogramm (millionstel Gramm) pro Kubikmeter Luft; bei Wartungsarbeiten wurden maximal 2,4 Mikrogramm erreicht. Der US-Grenzwert beträgt fünf, der deutsche 15 Mikrogramm (in der Metallgewinnung und Batterieherstellung 30 Mikrogramm). Der einzige Fall, in dem First Solar nach eigenen Angaben den US-Grenzwert überschreitet, ist die Reinigung der

»Killerargumente« widerlegen

Depositionskammer von Cadmium-Tellurid- und Cadmiumsulfid-Rückständen aus der Gasabscheidung. Die Arbeiter tragen bei dieser Prozedur eine spezielle Schutzausrüstung mit Atemschutzgeräten. Die Abfälle werden als Sondermüll entsorgt.

Wenn die Module die Fabrik verlassen haben, kann Cadmium nur mehr im Ausnahmefall frei werden: bei Glasbruch, der Ablagerung auf einer Hausmülldeponie oder bei einem Brand. Hartmut Steinberger hat dazu Mitte der 90er Jahre am GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit sowie am damals noch existierenden Fraunhofer-Institut für Festkörpertechnologie in München entsprechende Experimente angestellt. Die untersuchten Module von BP Solar, Matsushita und einem anonymen Hersteller enthielten zwischen sechs und 66 Gramm Cadmium pro Quadratmeter (bei Antec-Modulen sind es etwa 16 Gramm). Wenn Regen ein zerbrochenes Modul von einem halben Quadratmeter Größe auf dem Dach auswäscht, bleibt die Cadmium-Konzentration, so Steinbergers Ergebnis, unter dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung. Modulbruchstücke im Erdboden erhöhen die Cadmium-Konzentration nach einem Jahr um 240 Mikrogramm pro Kilogramm – eine Menge, die sich im Bereich der natürlichen Konzentration von 100 bis 1000 Mikrogramm bewegt. Das Modul von BP Solar bestand sogar die einschlägigen Auslaugungstests für normale Mülldeponien. Kommt es zu einem Hausbrand, verdampfen laut Steinberger in einer Stunde aus einer Modulfläche von 50 Quadratmetern, die acht Gramm Cadmium pro Quadratmeter enthält, etwa 40 Gramm. Das führt zu einer maximalen Konzentration von 1,44 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft, die über dem Schwellenwert des Umweltbundesamtes von 0,33 Mikrogramm liegt, aber unter den Grenzwerten für den Arbeitsplatz.

Bei all diesen Zahlen darf man nicht vergessen, dass ein modernes Kohlekraftwerk schon im normalen Betrieb zwischen 0,6 und zehn Mikrogramm Cadmium pro Kilowattstunde ausstößt. Angesichts solcher Ergebnisse argumentiert Vasilis Fthenakis, Leiter des Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitszentrums für Photovoltaik am Brookhaven National Laboratory in den USA, Cadmium-Tellurid-Module seien ein sinnvoller Weg, das Cad-

mium zu nutzen, das bei der Zinkgewinnung sowieso anfalle, und es dabei sicher einzubinden. Erik Alsema von der Universität Utrecht hat ausgerechnet, dass ein Cadmium-Tellurid-Modul über die Lebensdauer gesehen bis zu 5.000 Mal weniger Cadmium benötigt als ein Nickel-Cadmium-Akku, um eine Kilowattstunde Strom zu liefern. Deshalb meint auch Ken Zweibel, am Nationalen Forschungszentrum für erneuerbare Energien in Golden/Colorado Manager eines Dünnschicht-Partnerschaftsprogramms mit der US-Solarindustrie: »Die Photovoltaik könnte als eine Verbesserung gegenüber der heutigen Verwendung von Cadmium betrachtet werden. Wir isolieren es, die Umwelt profitiert davon, und dann recyceln wir es.«

Auch Module aus Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) kommen nicht ganz ohne Cadmium aus. Die in einer hauchdünnen Schicht aus Cadmiumsulfid enthaltenen Mengen sind aber deutlich geringer: Steinberger nennt für die von Siemens Solar Industries (jetzt Shell Solar) im kalifornischen Camarillo hergestellten Module 0,19 Gramm Cadmium pro Quadratmeter. Viel problematischer in der CIS-Produktion ist der Einsatz von Selenwasserstoff, einem hochentzündlichen und sehr giftigen Gas. Bei dem Verfahren, das Shell Solar anwendet, werden zunächst eine Kupfer- und eine Indium-Gallium-Schicht aufgetragen, bevor Selen aus Selenwasserstoff abgeschieden wird. Dieser Prozess verlangt »extrem hohe Sicherheitsanforderungen«, sagt Bernhard Dimmler, Geschäftsführer bei Würth Solar in Marbach am Neckar. Die CIS-Pilotlinie von Würth Solar arbeitet dagegen ohne Selenwasserstoff, indem Kupfer, Indium, Gallium und Selen gleichzeitig auf das Trägermaterial aufgedampft werden.

Kristalline Solarzellen ohne gefährlichen Inhalt

Cadmium-Tellurid- und CIS-Module hatten 2001 nur einen Weltmarktanteil von weniger als einem Prozent. Giftige Gefahrstoffe sind allerdings auch bei der Herstellung der klassischen Solarzellen aus kristallinem Silizium nötig: zum Beispiel Fluorwasserstoff (Flusssäure) zum Abätzen der Sägeschäden an der Waferoberfläche und für weitere Reinigungsschritte, Phosphorylchlorid zum Dotieren mit Phosphor sowie Ammoniak

Gefahrstoffe bei der Herstellung von Solarstromanlagen

Gefahrstoff	Chem. Formel	Verwendung	Einstufung	Luftgrenzwert Arbeitsplatz *)
Arsenwasserstoff	AsH ₃	Gasabscheidung zu Galliumarsenid	hochentzündlich, sehr giftig, umweltgefährlich	0,1 mg/m ³
Galliumarsenid	GaAs	Halbleiter für Spezial-Solarzellen im Weltraum	giftig, umweltgefährlich	0,1 mg/m ³
Phosphorwasserstoff	PH ₃	Abscheidung zu Gallium-Arsenid-Phosphid und Gallium-Indium-Phosphid; Dotierung von amorphem Silizium mit Phosphor	hochentzündlich, sehr giftig	0,14 mg/m ³
Cadmium	Cd	Bestandteil in Cadmium-Tellurid-, -sulfid und -chlorid	giftig, krebserzeugend	0,015 mg/m ³
Tellur	Te	Bestandteil in Cadmium-Tellurid	gesundheitsschädlich	0,1 mg/m ³
Cadmiumsulfid	CdS	Dünne Schicht in Cadmium-Tellurid- und Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen	giftig, Verdacht auf krebserzeugende Wirkung	0,015 mg/m ³
Cadmiumchlorid	CdCl ₂	Aktivierung der Cadmium-Tellurid-Schicht	sehr giftig, umweltgefährlich, kann u.a. Krebs erzeugen und vererbare Schäden verursachen	0,015 mg/m ³
Selenwasserstoff	H ₂ Se	Selenisierung der Kupfer-Indium-Schicht (Siemens-Verfahren)	hochentzündlich, giftig, umweltgefährlich	0,2 mg/m ³
Fluorwasserstoff	HF	Entfernen des Sägeschadens an Siliziumwafern, weitere Reinigungsstufen	sehr giftig, ätzend	2,5 mg/m ³
Salpetersäure	HNO ₃	Entfernung des Sägeschadens an Siliziumwafern durch nasschem. Ätzen	brandfördernd, ätzend	5,2 mg/m ³
Natronlauge	NaOH	Entfernung des Sägeschadens an Siliziumwafern durch nasschem. Ätzen	ätzend	2 mg/m ³
Phosphorylchlorid	POCl ₃	Dotierung von Siliziumwafern mit Phosphor	sehr giftig, ätzend	1,3 mg/m ³
Diboran	B ₂ H ₆	Dotierung von amorphem Silizium mit Bor	hochentzündlich, sehr giftig	0,1 mg/m ³
Ammoniak	NH ₃	Bildung von Siliziumnitrid aus Reaktion mit Silan für Antireflexschicht	entzündlich, giftig, umweltgefährlich	35 mg/m ³
Silan	SiH ₄	Bildung von Siliziumnitrid (s.o.); Gasabscheidung zu amorphem Silizium	hochentzündlich, gesundheitsschädlich	k.A.
Blei	Pb	Winzige Mengen in Silberpaste für Kontaktgitter auf kristallinen Solarzellen. Bis zu 40 Prozent im Lötzinn zur Verbindung der Solarzellen	giftig, kann Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen und Kind im Mutterleib schädigen	0,1 mg/m ³
Antimontrioxid	Sb ₂ O ₃	Flammschutzmittel im Wechselrichter	gesundheitsschädlich, Verdacht auf krebserzeugende Wirkung	0,1 mg/m ³

*) Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900 und 905)

Quelle: Brookhaven National Laboratory, GEIS

Strenge Regeln: Die Photovoltaikindustrie muss mit einer Reihe von zum Teil sehr giftigen Stoffen umgehen; die Einhaltung der Sicherheitsvorschriften gehört zum A und O.

Entwarnung: Der von einer Solarstromanlage erzeugte Elektrosmog sinkt bei einem Wechselrichter mit Transformator schon nach zehn Zentimetern unter den von Baubiologen empfohlenen Richtwert, bei einem trafolosen Wechselrichter nach einem Meter.

zur Bildung der Antireflexschicht aus Siliziumnitrid. Bis auf den Siebdruck des Kontaktgitters unterscheidet sich der Produktionsprozess jedoch nicht von der normalen Halbleiterindustrie. »Es ist eine Jahrzehnte eingeübte Technologie«, sagt Claus Beneking, Vorstandsmitglied des Erfurter Solarzellenherstellers Ersol Solar Energy AG. Entsprechend hoch sind die Sicherheitsstandards. Um entstehende Dämpfe abzusaugen, sind alle Anlagen grundsätzlich von einem Gehäuse umgeben. »Allein von den Produkthanforderungen her wird mit so hoher Sauberkeit gearbeitet«, erklärt Reiner Arndt, der für chemische Arbeitsstoffe zuständige Fachbereichsleiter bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, dass die Photovoltaikindustrie für seine Behörde kein Thema sei. Bei der neuen Produktionslinie der Deutschen Cell GmbH im sächsischen Freiberg laufen sogar sämtliche Prozessschritte unter Reinraumbedingungen ab. »Die Grenzwerte werden in allen Bereichen weit unterschritten«, sagt Produktionsleiter Ralf Lüdemann. Bei der Berufsgenossenschaft Chemie sei die Deutsche Cell in die niedrigste Beitragsklasse eingestuft.

Von all den giftigen Stoffen, die bei der Herstellung kristalliner Solarzellen eingesetzt werden, bleibt im fertigen Produkt keine einzige gefährliche Substanz zurück. Nachholbedarf hat die Photovoltaikindustrie nur noch bei den Lötverbindungen zwischen den Solarzellen, für die die meisten Modulhersteller ein Lötzinn mit 40 Prozent Bleianteil verwenden. Den Auslaugungstest der amerikanischen Umweltbehörde für Mülldeponien haben deswegen mehrere Modulmarken nicht bestanden.

Elektrosmog einer Solarstromanlage und Richtwerte

Elektrosmog-Quelle	Abstand	Feldstärke	Art des Feldes
einadrige Strangleitung, Gleichstrom 3 Ampere	10 cm	6 μ T	magnetisches
	1 m	0,6 μ T	Gleichfeld
einadrige Strangleitung, Wechselstrom 0,3 A/0,03A*)	10 cm	0,6/0,06 μ T	magnetisches
	1 m	0,06/0,006 μ T	Wechselfeld
Solarmodulfläche, bei trafolosem Wechselrichter	10 cm	350 V/m	elektrisches
	1 m	17 V/m	Wechselfeld
Solarmodulfläche, bei Wechselrichter mit Trafo	10 cm	18 V/m	elektrisches
	1 m	0,8 V/m	Wechselfeld
Grenzwerte/Empfehlungen		Feldstärke	Art des Feldes
Grenzwert 26. BImSchV		–	magnetisches
Baubiologische Empfehlung		< 50 μ T	Gleichfeld
Grenzwert 26. BImSchV		100 μ T	magnetisches
Baubiologische Empfehlung		0,4/0,2**) μ T	Wechselfeld
Grenzwert 26. BImSchV		5000 V/m	elektrisches
Baubiologische Empfehlung		20/10**) V/m	Wechselfeld

*) Überlagerung des Gleichstroms, 50-Hz-Welligkeit 10 % bzw. 1%

**) Tageswert/Nachtwert

Quelle: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Auch in der Siebdruckpaste aus Silber für die Kontaktgitter auf den Zellen ist das giftige Blei enthalten – allerdings in so winzigen Mengen, dass sich pro Quadratmeter Modulfläche nur wenige Mikrogramm ergeben.

Für die Lötverbindungen von Solarzellen hat ASE Americas (jetzt RWE Schott Solar Inc.) eine Alternative aus 96,5 Prozent

Zinn und 3,5 Prozent Silber entwickelt und setzt sie seit 1993 in den Solarmodulen ein. Auch die japanische Mitsubishi Electric Corporation produziert bereits bleifreie Module. Auf einem Workshop in den USA im Oktober 1999 bot ASE das Know-how der übrigen Photovoltaikindustrie unentgeltlich an. Die meisten Hersteller zögern jedoch noch mit der Umstellung, weiß Franz Kaufmann, Handelsvertreter für Ulbrich Precision Flat Wire, Marktführer für Lötverbinder in Nordamerika und Europa. Der Grund: Silberzinn ist mit einer Schmelztemperatur von 221 Grad Celsius anders zu verarbeiten als Bleizinn, das bei einer Temperatur zwischen 183 und 190 Grad schmilzt.

Kritisch sieht das Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) das für die Rückseitenfolie von Solarmodulen verwendete Polyvinylfluorid, bekannt unter dem Markennamen Tedlar. In einer im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellten Machbarkeitsstudie zu Umweltzeichen für photovoltaische Produkte und Anlagen schreibt das Institut: »Derartige Fluorpolymere gelten als toxisch.« Doch das ist eine Fehleinschätzung. »Es kann sich nur um die Abbrand- und Zersetzungsprodukte handeln. Das Polymer selbst ist nicht toxisch«, erklärt Gerold Hensler, Co-Autor eines Dossiers des bayerischen Landesamtes für Umweltschutz zur Beurteilung von Kunststoffbränden. Polyvinylfluorid ist nicht einmal in der Gefahrstoffliste der Berufsgenossenschaften enthalten; das Gesundheitsrisiko bei einem Brand von Fluorverbindungen schätzt das Landesamt als relativ gering ein. Denn die schwer entzündbaren Fluorpolymere brennen nur, wenn das Feuer in anderen Materialien Nahrung findet. »Das Gefahrenpotenzial wird deshalb nicht maßgeblich von Fluorwasserstoff, sondern von den anderen Brandgasen bestimmt«, heißt es in dem Dossier des Landesamtes.

Problematische Stoffe findet man hingegen in Wechselrichtern. Als Flammschutzmittel wird neben organischen Halogenverbindungen auch Antimontrioxid eingesetzt, bei dem Verdacht auf eine krebserzeugende Wirkung besteht. Martin Sauter, Mitgeschäftsführer des Berliner Ingenieurbüros Wuseltronik, hat deshalb 1998 auf dem Photovoltaik-Symposium in Staffel-

stein den Prototyp eines recyclingfähigen Wechselrichters vorgestellt, der Vergussmassen aus nachwachsenden Rohstoffen (so genannte Biopolymere) enthält; mineralische Zuschlagsstoffe ersetzen die üblichen Flammmhemmer.

Solch ein Öko-Wechselrichter würde allerdings 50 Prozent mehr als ein Standardmodell kosten, schätzt Sauter: »Wenn ich den zum Produkt gemacht hätte, könnte ich ihn nicht am Markt anbringen. Da geht es nur um Cent pro Watt. Der Rest interessiert momentan nicht.« Mit der im Dezember vom Europaparlament verabschiedeten Elektroschrott-Richtlinie kann sich das allerdings bald ändern: Sie verpflichtet alle Hersteller von Mitte 2005 an, die umweltgerechte Entsorgung ihrer Produkte selbst zu finanzieren. Sauter beobachtet, dass japanische Unterhaltungselektronikfirmen bereits jetzt auf ökologisch verträglichere Bauteile umschwenken.

Elektrosmog-Wirkung unbedenklich

Wenn es bei Solarstromanlagen um das Stichwort »Gesundheit« geht, denken viele allerdings weniger an irgendwelche Problemstoffe als an Elektrosmog. Wie alle elektrischen Geräte und Leitungen erzeugt auch eine Solaranlage ein elektrisches Feld, gemessen in Volt pro Meter (V/m), und ein magnetisches Feld, dessen Stärke in der Einheit Mikrottesla (μT) angegeben wird. Baubiologen empfehlen Feldstärken, die um den Faktor 500 bis 1.000 geringer sind als die Grenzwerte der 26. Bundesimmissionschutzverordnung (BImSchV), weil vor allem elektromagnetische Wechselfelder im Niederfrequenzbereich von 50 Hertz schon bei Feldstärken zwischen 0,3 und einem Mikrottesla die Ausschüttung des Hormons Melatonin vermindern. Solche Werte kommen in normalen Haushalten durchaus vor. Ein in der Nacht abgesenkter Melatoninspiegel kann Schlafstörungen, Depressionen, Immunschwäche und eine erhöhte Zellteilungsrate auslösen.

Bei einer Solarstromanlage mit trafolosem Wechselrichter werden der Plus- und Minuspol des Solargenerators abwechselnd auf Phase und Nulleiter im Stromnetz geschaltet. Daher ist ein Pol immer mit dem Erdpotential verbunden. Messungen des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme haben ergeben, dass das entstehende elektrische Wechselfeld einen Meter hinter dem Solargenerator die Empfehlungen von Baubiologen unterschreitet. Dagegen wird bei einem Wechselrichter mit Transformator die Gleichspannung am Solargenerator nur mit einer geringen Wechselspannung überlagert, so dass die elektrische Feldstärke schon zehn Zentimeter hinter dem Solargenerator unter den baubiologischen Richtwert sinkt (siehe Tabelle Seite 59). Von größerer Bedeutung als das elektrische Feld ist das magnetische bei der Leitung zwischen Generator und Wechselrichter. Während die magnetische Feldstärke bei einem einadrigen Kabel nach einem Meter den Richtwert der Baubiologen erreicht, fällt sie bei einer zweiadrigen Leitung durch die gegenseitige

Externe Kosten von Gesundheits- und Umweltschäden durch verschiedene Kraftwerke						
Kraftwerkstyp konventionell	Braunkohle	Steinkohle	Kraftwerksmix Deutschland	Erdgas-GuD	Kernkraft	Einheit
Gesundheitsschäden	0,716	0,461	0,375	0,218	0,115	Ct/kWh
Materialschäden	0,009	0,008	0,005	0,003	0,001	Ct/kWh
Ernteverluste *)	-0,023	-0,014	-0,010	-0,002	0,001	Ct/kWh
Ökosystemschäden **)	0,187	0,159	0,106	0,072	0,018	Ct/kWh
Treibhauseffekt ***)	3,216	2,855	1,756	1,230	0,058	Ct/kWh
Summe	4,11	3,47	2,23	1,52	0,19	Ct/kWh
Kraftwerkstyp regenerativ	Wasserkraft	Windkraft	Photovoltaik monokristallin	Photovoltaik polykristallin	Photovoltaik amorph	Einheit
Gesundheitsschäden	0,048	0,068	0,521	0,660	0,434	Ct/kWh
Materialschäden	0,001	0,001	0,008	0,010	0,007	Ct/kWh
Ernteverluste *)	0	0,001	0,001	0	0,001	Ct/kWh
Ökosystemschäden **)	0,013	0,018	0,132	0,143	0,013	Ct/kWh
Treibhauseffekt ***)	0,042	0,054	0,387	0,318	0,291	Ct/kWh
Summe	0,10	0,14	1,05	1,13	0,75	Ct/kWh

*) Negatives Vorzeichen: Kosteneinsparung durch Düngeeffekt **) Vermeidungskosten für Versauerung/Eutrophierung
 ***) Vermeidungskosten 30 €/Tonne Treibhausgas

Quellen: IER, DLR, eigene Berechnungen

Verbesserungspotenzial: Bei den externen Kosten der Gesundheits- und Umweltschäden, die verschiedene Kraftwerkstypen verursachen, rangiert die Photovoltaik wegen des hohen Strombedarfs bei der Herstellung der Anlagen heute noch im Mittelfeld zwischen Wasserkraft und Kohle. Dass die polykristalline Variante trotz geringeren Energieverbrauchs schlechter abschneidet als die monokristalline, liegt an der Methode des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) zur Berechnung der Schadstoffemissionen.

Kompensation der Ströme in den beiden Adern viel schneller ab.

Die Problematik wird zusätzlich dadurch entschärft, dass Solarstromanlagen nachts überhaupt nicht aktiv sind, denn die meisten Wechselrichter schalten bei zu geringer Sonneneinstrahlung ab. »Der Mensch ist in der Nacht, wo sich der Körper erholt, empfindlicher als am Tag. Deswegen schätzen wir den Klärungs- und Handlungsbedarf geringer ein als bei anderen elektrischen Geräten«, sagt Hans Ulrich-Raithel, Elektromog-Experte am Umweltinstitut München. »Wir empfehlen grundsätzlich, keine Elektroinstallationen im Nahbereich des Bettes zu verlegen.«

Einsparungen bei externen Kosten

Einen ganz anderen Effekt auf die Gesundheit haben Solarstromanlagen am Anfang ihres Lebenszyklus: Durch den hohen Stromverbrauch bei ihrer Herstellung entstehen nicht unerhebliche Emissionen an Schwefeldioxid, Stickoxiden und Staubpartikel. In verschiedenen Studien wurde ein statistischer Zusammenhang zwischen der Feinstaubkonzentration in der Luft und einer erhöhten Sterblichkeitsrate nachgewiesen. Das Konzept der externen Kosten versucht, diesen Effekt ebenso wie zum Beispiel häufigere Asthma- und Bronchitisfälle mit einem Geldwert zu beziffern. Dazu wird in Befragungen die Zahlungsbereitschaft ermittelt, solche Gesundheitsrisiken zu vermeiden. Auch Schädigungen des Ökosystems durch Versauerung und übermäßige Anreicherung mit Nährstoffen (Eutrophierung) sowie die Auswirkungen des Treibhauseffektes lassen sich nicht direkt ableiten, sondern nur über Vermeidungskosten abschätzen. Vergleichsweise einfach sind dagegen Ernte- und Materialschäden zu ermitteln.

Die Unsicherheiten bei der Abschätzung sind trotz jahrelanger Forschung immer noch groß und die Ergebnisse – vor allem bei der Kernenergie – nicht unumstritten. In Deutschland hat auf diesem Gebiet das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart, geleitet von dem Atomkraftbefürworter Alfred Voß, mehr oder weniger eine Monopolstellung: Es war federführend für den deutschen Teil des EU-Projekts »External Costs of Energy« (ExternE). Auch Olav Hohmeyer von der Universität Flensburg griff in seinem Gutachten über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Vergleich mit den externen Kosten der Stromerzeugung zum Teil auf IER-Zahlen zurück. Für die Photovoltaik ergibt sich bei diesen Daten ein etwas schiefes Bild, da Solaranlagen mit polykristallinen Solarzellen trotz geringeren Energieverbrauchs in den Berechnungen des IER stärkere Schadstoffemissionen und damit auch höhere externe Kosten aufweisen als Anlagen mit monokristallinen Zellen. In der Tabelle auf Seite 60 sind deshalb die Angaben für den Treibhauseffekt durch Zahlen, die auf der PHOTON-Emissionsbilanz in der Januar-Ausgabe beruhen, ersetzt.

Mit externen Kosten von rund einem Cent pro Kilowattstunde schneidet die Photovoltaik deutlich schlechter ab als Wasser-, Wind- und Kernkraft. Stein- und Braunkohle liegen jedoch mit dreieinhalb bis vier Cent weit darüber. Da Solarstrom vor allem Kohlestrom verdrängt, lassen sich so durchaus nennenswerte volkswirtschaftliche Kosten vermeiden, die aus Gesundheits- und Umweltschäden entstehen würden. Zusammen mit den eingesparten Betriebskosten für Kohlestrom machen sie im Jahr 2010 immerhin schon 20 Prozent der EEG-Ausgaben und externen Kosten für Solarstrom aus. Mit den Zahlen aus der Hohmeyer-Studie ergibt sich sogar noch ein erheblich höherer Anteil. Und je weiter die Einspeisevergütung sinkt, umso stärker nähern sich die volkswirtschaftliche Ausgaben für Solarstrom und Einsparungen beim Kohlestrom einander an.

Johannes Berneuter

**Im nächsten Heft:
»Photovoltaik kann kein Kraftwerk ersetzen«**

Zum Weiterlesen

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BIA): Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften (GESTIS); Internet-Datenbank mit ausführlichen Informationen über rund 7.000 Gefahrstoffe unter: www.hvbg.de/d/bia/fac/zesp/zesp.htm

John R. Bohland/Ken Smigielski: First Solar's CdTe module manufacturing experience. Environmental, health and safety results; Proceedings of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, Alaska, 2000

Hartmut Steinberger: Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen der Herstellung und Anwendung sowie Entsorgung von Dünnschichtsolarzellen und Modulen. Kenntnisstandbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben 0329205 A, 1995; über Fernleihe erhältlich bei der Universitätsbibliothek Hannover/Technische Informationsbibliothek (www.tib.uni-hannover.de); Link: TIBORDER)

Vasilis Fthenakis: Could CdTe PV Modules Pollute the Environment?, Brookhaven National Laboratory, 2002; im Internet unter: www.pv.bnl.gov/cdte.htm

Erik A. Alsema: Environmental Aspects of Solar Cell Modules. Summary Report, Utrecht University, 1996, S. 29-38; als PDF-Datei unter: www.chem.uu.nl/nws/www/publica/96074.pdf

Vasilis Fthenakis/Ronald Gonsiorawski: Lead-free Solder Technology Transfer from ASE Americas. Report on a Workshop Organized by Brookhaven National Laboratory (BNL), 1999; als Word-Datei per E-Mail erhältlich bei: vmf@bnl.gov; Zusammenfassung unter: www.pv.bnl.gov/vail.htm

Umweltbundesamt (Hg.): Machbarkeitsstudie für neue Umweltzeichen für die Produktgruppen: Photovoltaische Produkte und Anlagen. Endbericht (UBA-Texte Nr. 73/02), 2003

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hg.): Beurteilung von Kunststoffbränden. Bei ei-

ner Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs entstehende Stoffe nach den Anhängen II – IV der 12. BImSchV, 1995; als Word-Datei unter: www.bavaria.de/LFU/luft/ku-braende/kunststoffbraende_w70.doc

Peter Fischer/Martin Sauter: Entwicklung eines recyclingfähigen Solarwechselrichters, in: OTTI Technologie-Kolleg (Hg.): 13. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 1998, S. 216-222; als PDF-Datei unter: www.wuseltronik.com/staff98.pdf

Georg Bopp/Rainer Schätzle/Martin Virnich: Inwieweit tragen Photovoltaik-Anlagen zum Elektromog bei? Vortrag auf der 1. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen (VDB), 2002; als PDF-Datei per E-Mail erhältlich bei: bopp@ise.fhg.de

Energiebeauftragter des Landes Steiermark (Hg.): Externe Kosten im Energiebereich. 2. Zwischenbericht – Literaturrecherche, 1999; als PDF-Datei unter: www.lev.at/Download/ExterneKosten.pdf

Wolfram Krewitt: Externe Kosten der Stromerzeugung, in: Eckhard Rebhan (Hg.): Energiehandbuch. Gewinnung, Wandlung und Nutzung von Energie, Springer-Verlag, 2002, S. 986-1007; als PDF-Datei unter: www2.dlr.de/TT/system/publications/Externe_Kosten_der_Stromerzeugung.pdf

Wolfram Krewitt/Joachim Nitsch: Das EEG – eine Investition in die Zukunft zahlt sich heute schon aus, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 7/2002, S. 484-487; als PDF-Datei unter: www2.dlr.de/TT/system/publications/EEG_Investition_in_die_Zukunft.pdf

Umweltbundesamt (Hg.): Vergleich externer Kosten der Stromerzeugung in Bezug auf das Erneuerbare-Energien-Gesetz (UBA-Texte Nr. 06/02), 2002; als PDF-Datei unter: www.bmu.de/download/dateien/vergleich_kosten.pdf