Agrotreibstoffe versus Solarstrom

Autor(en): **Stucki, Matthias / Frischknecht, Rolf / Jungbluth, Niels**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **102 (2011)**

Heft 2

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856779

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Agrotreibstoffe versus Solarstrom

Ein Vergleich der Ökobilanzen alternativer Treibstoffe

Wie weit kann ein Elektroauto fahren, wenn es mit der jährlichen Stromproduktion einer Fotovoltaik-Freiflächenanlage von 1 ha Fläche angetrieben wird? Welche Distanz kann zurückgelegt werden, wenn auf derselben Fläche Agrotreibstoffe produziert werden? Welche der beiden Alternativen zum konventionellen Individualverkehr verursacht tiefere Umweltbelastungen? Aktuelle Ökobilanzen erlauben eine qualifizierte Beurteilung von alternativen Antriebssystemen.

Matthias Stucki, Rolf Frischknecht, Niels Jungbluth

Der motorisierte Verkehr ist mitverantwortlich für eine Bandbreite verschiedener Umweltauswirkungen. Er trägt durch den Ausstoss von Treibhausgasemissionen zum Klimawandel bei, schädigt durch Schadstoffe wie Feinstaub, Stickoxide, Schwefeldioxid und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe die Gesundheit, Pflanzen, Gebäude und Gewässer, trägt zur Bodenversiegelung bei (Strassenbau) und verursacht Schwermetall-Emissionen in Boden und Gewässer.

Insbesondere drohen die CO_2-Emissionen aus dem Verkehr die Schweizer Klimaschutzziele zu gefährden. Denn während die Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich und der Industrie rückläufig sind, steigen die Treibhausgasemissionen des Verkehrs stetig an. Im Jahr 2009 stammten 44 % der schweizerischen CO_2-Emissionen aus dem Verkehr. Diese Emissionen entsprechen einer Abweichung um mehr als 20 % vom Zielpfad gemäss CO_2-Gesetz.[1)] Alternative Antriebssysteme, die ohne fossile Treibstoffe funktionieren, können neben weiteren Massnahmen – wie zum Beispiel der Förderung des öffentlichen Verkehrs – einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Zwei Schwerpunkte hierbei sind Agrotreibstoffe und Elektromobilität.

Die Umweltauswirkungen von Elektrofahrzeugen hängen stark vom gewählten Strommix ab, weshalb aus Umweltsicht Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen wie Wasserkraft, Windenergie und Fotovoltaik favorisiert wird. Fotovoltaik kann in der Schweiz einen Teil dazu beitragen, die Umweltintensität des Schweizer Strommixes zu vermindern und insbesondere die Treibhausgasemissionen wie auch die Produktion radioaktiver Abfälle zu reduzieren [1].

In verschiedenen Schweizer Städten stehen den Fahrern von Elektrofahrzeugen Solartankstellen zur Verfügung. Sonnenenergie steht in beinahe unbeschränkter Menge zur Verfügung. Wenn bis im Jahr 2050 auf 10 % der in der Schweiz vorhandenen Dachfläche Fotovoltaikanlagen installiert würden, so liesse sich eine Leistung von 6000 MW realisieren und damit rund 5,7 TWh Strom produzieren [2]. Fotovoltaik-Freiflächenanlagen wie auch der Anbau von Energiepflanzen für die Produktion von Agrotreibstoffen können neue Einkommensquellen für Landwirte darstellen, die als Energiewirte Agrarenergie produzieren. Jedoch benötigt die Produktion von Agrarenergie Bodenflächen, die in der Schweiz eine knappe Ressource darstellen. Pro Sekunde geht in der Schweiz 1,3 m² Kulturland verloren.[2)] Im Hinblick auf diesen Kulturlandverlust stellt sich die Frage, ob Biotreibstoffproduktion mit Energiepflanzen oder Solarstrom aus Fotovoltaik-Freiflächenanlagen eine effizientere Bodennutzung zum Zweck alternativer Antriebssysteme darstellt. Zudem interessiert uns, welche der beiden Varianten pro gefahrenen Kilometer weniger zum Klimawandel beiträgt und welche pro gefahrenen Kilometer insgesamt geringere Umweltauswirkungen verursacht, wenn neben dem Klimawandel weitere Umweltprobleme mitberücksichtigt werden. Mit einer Ökobilanz können qualifizierte Antworten auf diese Fragen gegeben werden.

Ökobilanz von Elektromobilität und Agrotreibstoffen

In einer Ökobilanz werden die Umweltauswirkungen über den Lebensweg eines Produkts systematisch analysiert. Bei Elektromobilität durch Solarstrom einer Freiflächenanlage beinhaltet dieser Lebenszyklus beispielsweise die Gewinnung der Rohstoffe für den Bau der Freiflächenanlage, die Fabrikation der Solarzellen, des Montagesystems und des Wechselrichters, die Installation und den Betrieb der Anlage sowie deren Entsorgung. Bei Agrotreibstoffen umfasst dieser Lebensweg den Anbau von Energiepflanzen und die Produktion der Agrotreibstoffe inklusive des Baus der dazu benötigten Infrastruktur (wie Tankstellen). Zudem werden bei beiden Varianten die Emissionen im Betrieb der Fahrzeuge sowie die Herstellung und der Unterhalt der Fahrzeug- und Strasseninfrastruktur berücksichtigt.

Konkretes Vorgehen

Im ersten Schritt, der Sachbilanz, werden die kumulierten Ressourcenentnahmen und Schadstoffemissionen über den Lebensweg ermittelt. Die Sachbilanz wird dann mit Bewertungsmethoden wie beispielsweise der Methode der ökologischen Knappheit 2006 [3] ausgewertet, oder es werden die kumulierten Treibhausgasemissionen [4] berechnet. Das Vorgehen einer Ökobilanz wird in den ISO-Normen 14040 ff. geregelt [5]. Richtlinien für die Erstellung von Ökobilanzen zu Fotovoltaik wurden 2009 von der IEA herausgegeben [6] und in den für diesen Artikel zugrundeliegenden Modellen berücksichtigt. Die in diesem Artikel veröffentlichten Resultate basieren auf Ökobilanz-Daten im Rahmen einer Aufdatierung der Ecoinvent-Datenbank [7] und zwei Studien im Auftrag verschiedener Bundesämter [8, 9]. Die Daten zu der in der Schweiz installierten Fotovoltaikanlage stammen von einer Freiflächenkonstruktion mit multikristallinen Siliziumzellen mit einer Moduleffizienz von 12,2 % (max. 122 W/m²) und einer jährlichen Stromproduktion von 122 kWh/m².

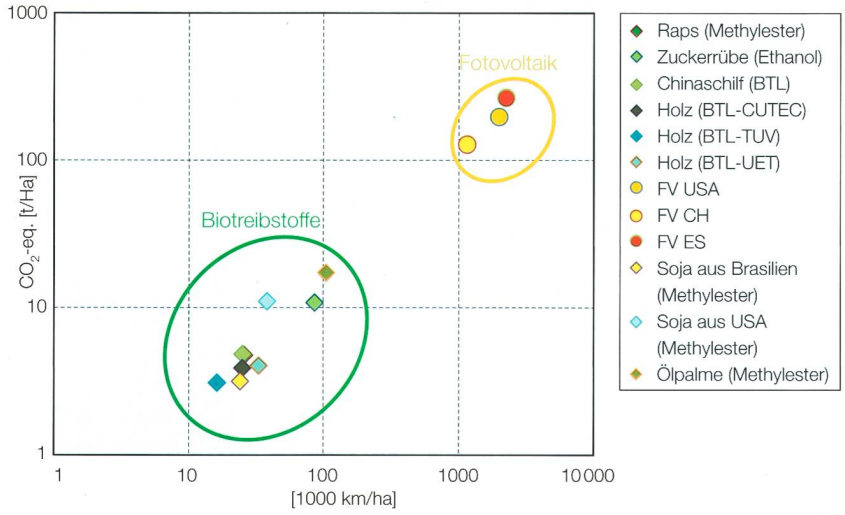


Bild 1 Zweidimensionale logarithmische Darstellung von Kilometerleistung und Treibhausgas-Emissionen pro Hektar von Agrotreibstoffen verschiedener Energiepflanzen und Elektromobilität mit Strom aus Fotovoltaik-Freiflächenanlagen. BTL steht für Biomass-to-Liquid Fuel, CUTEC, TUV und UET sind die Entwickler verschiedener BTL-Umwandlungstechnologien (die zurzeit noch nicht auf dem Markt erhältlich sind), und FV steht für Fotovoltaik.

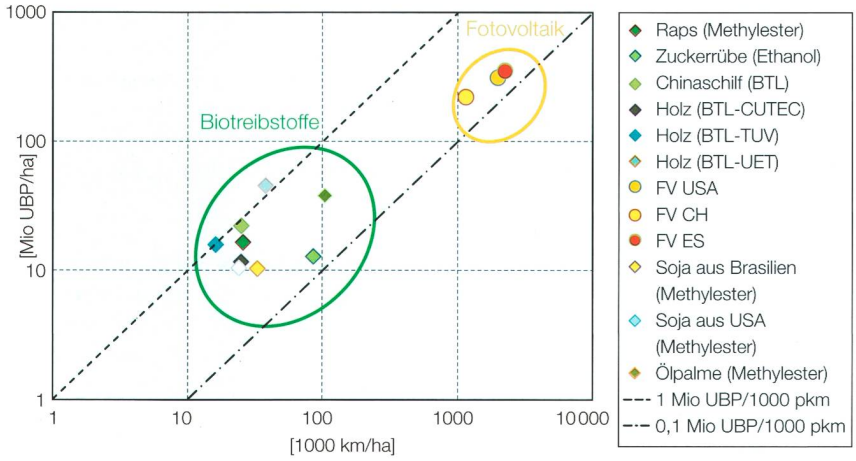


Bild 2 Zweidimensionale logarithmische Darstellung von Kilometerleistung und gesamter Umweltbelastung (bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006) pro Hektar von Agrotreibstoffen verschiedener Energiepflanzen und Elektromobilität mit Strom aus Fotovoltaik-Freiflächenanlagen. Die gestrichelten Linien verbinden Punkte gleicher Umweltbelastung pro Personenkilometer. BTL steht für Biomass-to-Liquid Fuel, CUTEC, TUV und UET sind die Entwickler verschiedener BTL-Umwandlungstechnologien (die zurzeit noch nicht auf dem Markt erhältlich sind), und FV steht für Fotovoltaik.

Das Elektrofahrzeug ist mit einem Lithiumionen-Akku ausgerüstet.

Ergebnisse des Vergleichs

Wie viele Kilometer kann eine Person mit einem Elektroauto fahren, wenn dieses mit der jährlichen Stromproduktion einer Fotovoltaik-Freiflächenanlage von 1 ha Fläche angetrieben wird? Welche Distanz kann zurückgelegt werden, wenn auf derselben Fläche Agrotreibstoffe produziert werden?

Die zweidimensionale logarithmische Darstellung in **Bild 1** zeigt, dass die Kilometerleistung pro Hektar einer Solaranlage diejenige von Biotreibstoff verschiedener Energiepflanzen um ein Vielfaches übersteigt. Ein Elektrofahrzeug mit einem Verbrauch von 20 kWh pro 100 km kann mit der Solarstromproduktion eines Hektars einer Schweizer Freiflächenanlage 1,2 Mio. Fahrzeugkilometer zurücklegen. Durch die von 1 ha Energiepflanzen produzierte Menge Biotreibstoff können, bei einem spezifischen Kraftstoffbedarf von 4 bis 7 l pro 100 km, zwischen 0,02 und 0,1 Mio. Fahrzeugkilometer zurückgelegt werden. Fotovoltaikanlagen stellen somit eine effizientere energetische Landnutzung dar als der Anbau von Energiepflanzen.

Bezogen auf 1 ha übersteigen die Treibhausgasemissionen von Fotovoltaik-Freiflächenanlagen diejenigen Emissionen des Anbaus und der Verarbeitung von Energiepflanzen ebenfalls um ein Vielfaches. Doch pro zurückgelegten Fahrzeugkilometer schneiden beide Alternativen etwa gleich gut ab.

Die zweidimensionale logarithmische Darstellung in **Bild 2** zeigt, dass die gesamten Umweltbelastungen gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2006 für Elektromobilität mit Solarstrom, der auf 1 ha erzeugt wird, wesentlich grösser sind im Vergleich mit den Umweltauswirkungen von Agrotreibstoffen, die mit 1 ha Agrarfläche erzeugt werden können. Pro zurückgelegten Fahrzeugkilometer sind die Umweltbelastungen des Elektroautos aber deutlich tiefer (siehe auch **Bild 3**).

Konkrete Umweltbelastungen

Die Umweltbelastungen der Anwendung von Agrotreibstoffen werden zu einem wichtigen Teil durch den Gebrauch von Dünger und Pestiziden beim Anbau der Energiepflanzen verursacht. Die Umweltbelastung der Elektromobilität mit Solarstrom stammt grösstenteils von Luftschadstoffen, die bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern emittiert werden. Diese werden in Form von Elektrizität und Wärme für die Aufbereitung von Rohstoffen und für den Bau und Unterhalt des Elektrofahrzeugs (Stichwort Batterie), der Strasseninfrastruktur und der Fotovoltaik-Freiflächenanlage benötigt.

Bild 3 zeigt, dass in Bezug auf die zurückgelegte Kilometerleistung Agrotreibstoffe höhere Umweltbelastungen verursachen als Elektromobilität mit Solarstrom. Eine Ausnahme stellt Ethanol aus Zuckerrüben dar, das wegen hohen Flächenerträgen und einer Gutschrift für die beim Rübenanbau aus dem Boden aufgenommenen Schwermetalle eine tiefe Gesamtumweltbelastung aufweist.

Bild 4 zeigt die Abhängigkeit der Umweltbelastung pro zurückgelegten Fahrzeugkilometer vom gewählten Stromprodukt für den Betrieb von Elektrofahrzeugen. Unabhängig vom gewählten Stromprodukt verursachen die hier betrachteten Elektrofahrzeuge tiefere Umweltbelastungen als der Flottendurchschnitt von Benzinfahrzeugen in der Schweiz im Jahr 2010. Jedoch schneidet der Betrieb von Elektrofahrzeugen mit Kohlekraft oder Kernenergie schlechter ab als ein durchschnittliches Dieselauto.

Ein Elektrofahrzeug, das mit dem durchschnittlichen Schweizer Verbrauchermix betrieben wird, verursacht etwa gleich hohe Umweltbelastungen wie ein durchschnittliches Dieselauto und bedeutet daher keinen relevanten Beitrag zum Umweltschutz. Am tiefsten sind die Umweltbelastungen, wenn Elektrofahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Quellen wie Windenergie, Wasserkraft oder Fotovoltaik betrieben werden.

Insgesamt beträgt das Reduktionspotenzial von heutigen, relativ schweren Elektroautos auf Basis erneuerbaren Stroms im Vergleich zu konventionellen Benzinautos zwischen rund 30 und 50 %. Dass es nicht höher ist, liegt an den relativ hohen Verbrauchswerten, an der heute noch aufwendigen Herstellung der Batterien und an der in beiden Fällen benötigten Strassen- und Fahrzeuginfrastruktur.

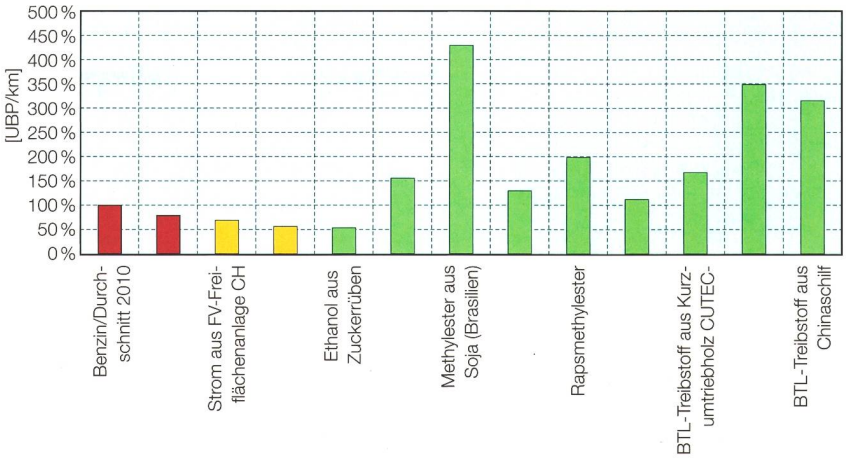


Bild 3 Relativer Vergleich der Umweltbelastung (bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006; UBP: Umweltbelastungspunkte) pro zurückgelegten Fahrzeugkilometer mit Fahrzeugen verschiedener Antriebssysteme und dem Flottendurchschnitt der Schweizer Benzin- und Dieselautos im Jahr 2010 als Referenz.

Auch wenn im Betrieb von Elektrofahrzeugen keine Emissionen durch die Verbrennung von Treibstoffen anfallen, so verursachen auch Elektrofahrzeuge bedeutende Umweltbelastungen in ihrem Lebenszyklus. Insbesondere die Umweltbelastungen verbunden mit der Strombereitstellung spielen eine wichtige Rolle, weshalb die Fahrer von Elektrofahrzeugen einerseits durch die Wahl eines umweltfreundlichen Stromprodukts einen Einfluss auf die Umweltbelastung ihrer Elektromobilität haben: Ökostrom und Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen verursachen deutlich weniger Umweltbelastungen als der durchschnittliche Schweizer Verbrauchermix, Kohlekraft oder Kernenergie. In den meisten Fällen verursacht der Betrieb von Fahrzeugen mit Agrotreibstoffen aus Energiepflanzen wesentlich höhere Umweltbelastungen als der Betrieb von Elektrofahrzeugen.

Anderseits machen die gezeigten beschränkten Verbesserungspotenziale klar, dass erst eine deutliche Reduktion des spezifischen Treibstoff- bzw. Strombedarfs zu einer deutlichen Reduktion der Umweltbelastung und der Klimagas-Emissionen führen wird. Leichtbau-Fahrzeugkonzepte mit einem Bedarf von 2 l Diesel oder 8 kWh Strom pro 100 km können einen deutlichen Beitrag zur Umweltentlastung und zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Vergleich zur heutigen Fahrzeugflotte darstellen **(Bild 5)**.

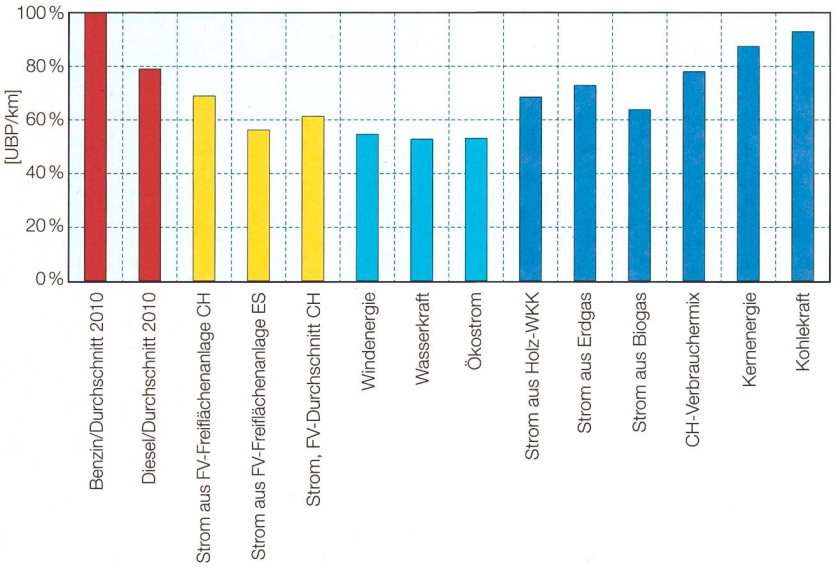
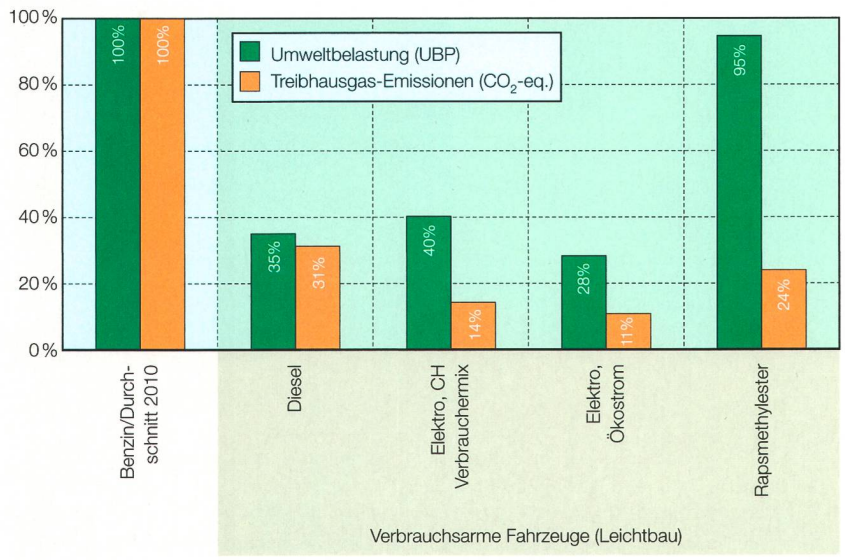


Bild 4 Relativer Vergleich der Umweltbelastung (bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006; UBP: Umweltbelastungspunkte) pro zurückgelegten Fahrzeugkilometer mit Elektrofahrzeugen in Abhängigkeit vom gewählten Stromprodukt sowie dem Flottendurchschnitt der Schweizer Benzin- und Dieselautos im Jahr 2010 als Referenz.

Folgerungen

In Bezug auf Flächenproduktivität stellen Fotovoltaik-Freiflächenanlagen kombiniert mit Elektrofahrzeugen eine wesentlich effizientere Flächennutzung dar als der Anbau von Energiepflanzen für die Produktion von Agrotreibstoffen.

Da auch für den Bau von Fotovoltaik-Freiflächenanlagen die knappe Ressource Bodenfläche benötigt wird, sind jedoch aus Umweltsicht Fotovoltaikanlagen auf Gebäuden zu favorisieren. Aus diesem Grund sind nur Fotovoltaik-



Bilder: ESU-Services GmbH

Bild 5 Relativer Vergleich der Umweltbelastung (bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006) und der Treibhausgas-Emissionen pro zurückgelegten Fahrzeugkilometer mit verbrauchsarmen Leichtbau-Fahrzeugen verschiedener Antriebssysteme und dem Flottendurchschnitt der Schweizer Dieselautos im Jahr 2010 als Referenz.

anlagen auf bereits überbauten Flächen für eine Zertifizierung nach Naturemade zugelassen [10]. Strom aus dachintegrierten Fotovoltaikanlagen verursacht zudem rund einen Drittel weniger Treibhausgasemissionen über die Lebensdauer als solcher aus vergleichbaren Freiflächenanlagen. Das technisch nutzbare Potenzial von Solarstrom (Fotovoltaikanlagen auf 10 % der Dachfläche in der Schweiz im Jahr 2050) ermöglicht eine jährliche Stromproduktion in der Höhe von ca. 10 % des heutigen Strombedarfs der Schweiz, ohne dass Fotovoltaik-Freiflächenanlagen gebaut würden [2, 11].

Da Elektromobilität nicht per se einen Beitrag zum Umweltschutz leistet, sind Kombi-Angebote von Ökostrom und Elektrofahrzeug aus Umweltsicht zu begrüssen. Durch die Kombination von Solarstrom mit Elektrofahrzeugen kann eine Reduktion der Umweltbelastungen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen erreicht werden.

Bei Agrotreibstoffen gibt es in Bezug auf die Umweltbelastungen grosse Unterschiede in Abhängigkeit von den Substraten und Umwandlungstechnologien, weshalb keine allgemeine Empfehlung gegeben werden kann.

Für alle Antriebssysteme gilt: Erst eine deutliche Reduktion des spezifischen Verbrauchs der Fahrzeuge führt zu einer deutlichen Verringerung der Umweltbelastung des Autofahrens.

Résumé **Agrocarburants versus électricité solaire**

Une comparaison des écobilans issus de carburants alternatifs

Quelle est l'autonomie d'une voiture électrique lorsqu'elle est propulsée par la production électrique annuelle d'une installation photovoltaïque couvrant une superficie d'un hectare ? Quelle distance peut-elle parcourir si la même surface est exploitée pour produire des agrocarburants ? Laquelle de ces deux alternatives au transport individuel conventionnel a-t-elle le plus grand impact sur l'environnement ? A l'aide d'écobilans actuels, cet article présente des réponses concrètes à ces questions. No

Literatur

[1] Stucki, M., und Frischknecht, R., Vermindert Photovoltaik die Umweltintensität des Schweizer Stroms? Erkenntnisse aktueller Ökobilanzen zu Strom aus Solarzellen, in Bulletin SEV/VSE 3/2010.

[2] Berg, M., und Real, M., Road Map Erneuerbare Energien Schweiz. 2006, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften, SATW: Zürich.

[3] Frischknecht, R., Steiner, R., und Jungbluth, N., Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. 2008, Bundesamt für Umwelt (BAFU): Bern.

[4] IPCC, The IPCC fourth Assessment Report. 2007, Cambridge University Press: Cambridge.

[5] International Organization for Standardization (ISO), Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. 2006: Geneva.

[6] Alsema, E., et al., Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity. 2009, Subtask 20 «LCA», IEA PVPS Task 12.

[7] Jungbluth, N., et al., Photovoltaics, in Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, C. Bauer and R. Dones, Editors. 2010, ESU-Services Ltd.: Uster, CH. p. 233.

[8] Jungbluth, N., et al., Ökobilanz von Energieprodukten: Life Cycle Assessment of biomass-to-liquid fuels. 2008, ESU-Services Ltd. im Auftrag des Bundesamts für Energie, des Bundesamts für Umwelt und des Bundesamts für Landwirtschaft: Bern.

[9] Zah, R., et al., Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. 2007, Abteilung Technologie und Gesellschaft, Empa im Auftrag des Bundesamts für Energie, des Bundesamts für Umwelt und des Bundesamts für Landwirtschaft: Bern.

[10] Naturemade, Zertifizierungsrichtlinien: Bestimmungen und Kriterien. 2010, Verein für Umweltgerechte Elektrizität (VUE): Zürich.

[11] BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2009. 2010, Bundesamt für Energie: Bern.

Angaben zu den Autoren

Matthias Stucki, dipl. Natw. ETH, studierte an der ETH Zürich Umweltnaturwissenschaften. Seit Juni 2008 arbeitet Matthias Stucki bei der ESU-Services GmbH als Projektleiter. Er ist Mitglied der Schweizer Delegation der Task 12 (Umweltgesundheit und Sicherheit von Fotovoltaik) im IEA Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS).

ESU-Services GmbH, 8610 Uster
stucki@esu-services.ch

Rolf Frischknecht, Dr. sc. techn. ETH, Gründer des Unternehmens ESU-Services. Von 1998 bis 2008 hat er die Entwicklung, den Aufbau, die Markteinführung und die Erweiterung der heute international führenden Ecoinvent-Datenbank geleitet. Nebst seiner Tätigkeit als geschäftsführender Partner der ESU-Services GmbH ist er Lehrbeauftragter für Ökobilanzen an der ETH Zürich auf Stufe Bachelor und Master. Er ist Mitglied der Schweizer Delegation der Task 12 im IEA Photovoltaic Power Systems Programme.

ESU-Services GmbH, 8610 Uster
frischknecht@esu-services.ch

Niels Jungbluth, Dr. sc. techn. ETH, Teilhabender Geschäftsführer der ESU-Services GmbH. Ab 2000 Erarbeitung der Grundlagendaten für Fotovoltaik in der Ecoinvent-Datenbank. Von 2003 bis 2007 Projektleitung der «Ökobilanz von Energieprodukten», die die Grundlage für die steuerliche Beurteilung von Agrotreibstoffen in der Schweiz bildet. Von 2004 bis 2008 Projektpartner in einem EU Projekt zu BtL-Treibstoffen.

ESU-Services GmbH, 8610 Uster
jungbluth@esu-services.ch

[1] www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572 (Zugriff am 12. November 2010).

[2] www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/03/blank/key/bodennutzungswandel_pro_sekunde.html (Zugriff am 12. November 2010).