

Erschienen in: Corporate Sustainability: Der Beitrag von Unternehmen zu einer nachhaltigen Entwicklung in Wirtschaft und Gesellschaft. (Festschrift zum 70.Geburtstag von A.H.Malinsky, Hrsg. H. K. Prammer). Gabler Verlag, Wiesbaden 2010

Solar Fuels als Brennstoff- und Kraftstoffalternative im Rahmen einer nachhaltigen Energiewirtschaft

Reinhold Priewasser

- 1 Eckpunkte einer nachhaltigen Energieversorgung
- 2 Grenzen der Substituierbarkeit fossiler Energieträger durch bestehende regenerative Energiealternativen
- 3 Solar Fuels als innovative Form chemisch gebundener Alternativenergie
- 4 Einsatzoptionen für Solar Fuels im Kraftstoffbereich
 - 4.1 Probleme und Grenzen der Gewinnung von Kraftstoffen aus landwirtschaftlichen Rohstoffen
 - 4.2 Spezifische Vorteilsmomente von Solar Fuels als Kraftstoffalternative
- 5 Solar Fuels als Speicherlösung für Wind- und Solarstrom
- 6 Resümee

1 Eckpunkte einer nachhaltigen Energieversorgung

Angesichts der immer deutlicher erkennbar werdenden Grenzen der gegenwärtigen Energienutzung werden die politischen Bemühungen um eine stärkere Orientierung in Richtung eines nachhaltigeren Umgangs mit den Energieressourcen zusehends intensiver. Konstitutive Grundelemente einer nachhaltigen Energieversorgung sind die beständige Erhöhung der Effizienz der Energienutzung und parallel dazu die sukzessive Ausweitung des Anteiles erneuerbarer Energien mit der idealtypischen Endperspektive einer letztlich gänzlichen Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern.

Erhöhungen der Energieeffizienz und wachsende Versorgungsbeiträge regenerativer Energieformen stellen zusammen auch die Grundvoraussetzung für eine Reduktion des Ausstoßes von anthropogenem Kohlendioxid (CO₂) und anderen energiebedingten klimawirksamen Gasen dar. Diese Reduktion wiederum bildet den Kern einer - aus wissenschaftlicher Seite gleichsam unbestritten - notwendigen Stabilisierung der sich abzeichnenden globalen Erderwärmung. Realpolitisch wird dem in der von der Europäischen Union zuletzt beschlossenen Klimaschutzstrategie „20-20-20“ Rechnung getragen, welche mit Zeithorizont bis zum Jahr 2020 eine Verringerung des Gesamtenergieverbrauches um 20 Prozent gegenüber dem derzeitigen Trend sowie gleichzeitig eine Erhöhung des Marktanteiles der erneuerbaren Energien auf 20 Prozent vorsieht, um auf diese Weise die Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 20 Prozent gegenüber 1990 zu verringern.¹

Während in den wirtschaftlich "reifen" hochindustrialisierten Ländern eine Stabilisierung - oder ein zumindest nur moderates Ansteigen - des Energieverbrauches mittelfristig realpolitisch durchaus möglich erscheint, ist in den industriell stark aufstrebenden, bevölkerungsreichen Schwellenländern jedenfalls weiterhin noch mit deutlichen Zuwächsen im Energiebedarf zu rechnen.² Den Prognosen der Internationalen Energieagentur zufolge ist bis zum Jahr 2020 ein Anstieg des Weltenergieverbrauches um 28 bis 36 Prozent zu erwarten (bezogen auf das Basisjahr 2004), bis zum Jahr 2030 könnte der Verbrauchszuwachs 36 bis 53 Prozent erreichen.³ Im Hinblick auf das Ziel, einen immer größeren Anteil des globalen Energieverbrauches durch erneuerbare Energieträger zu decken, stellt sich vor dem

¹ Vgl. Europäische Union 2010, http://europa.eu/pol/env/index_de.htm, Zugriff am 11.05.2010.

² Anmerkung: So hat sich der Ölverbrauch in China und Indien von Mitte der Neunziger Jahre bis 2004 in etwa verdoppelt. Vgl. International Energy Agency (IEA) 2006.

³ Vgl. International Energy Agency (IEA) 2006.

Hintergrund der skizzierten Bedarfsentwicklung die Frage nach vorhandenen Potentialgrößen bei den Energiealternativen und deren technischer Nutzbarkeit.

2 Grenzen der Substituierbarkeit fossiler Energieträger durch bestehende regenerative Energiealternativen

Geht man vom technisch nutzbaren Potential aller erneuerbaren Energieträger weltweit aus, so würde dieses dem Energiewert nach in Summe jedenfalls ausreichen, um den gegenwärtigen Welt(primär)energieverbrauch in Höhe von rund 490 EJ zu decken.⁴ Aus nutzungstechnischer Sicht stark limitierend wirkt dabei jedoch, dass der mit Abstand größte Anteil dieses erneuerbaren Energiepotentials auf Energieträger, wie Solarstrahlung, Wind, Wasserkraft und in Umweltmedien gespeicherte Wärme entfällt, allesamt Energieformen mit relativ geringer Energiedichte und z.T. hohen jahres- bzw. auch tageszeitlichen Angebotsschwankungen. Zusammen mit dem Umstand, dass für die aus diesen Primärquellen gewonnenen Sekundärenergieformen Strom und Wärme derzeit entweder noch keine ausgereift praxistauglichen Speichertechnologien existieren (wie z.B. Langzeitspeicher für Wärme) oder solche zwar verfügbar sind, jedoch hohe Kosten verursachen bzw. technisch sehr aufwendig sind (wie etwa Pumpspeicher, Druckluftspeicher, Batterien für Wind- oder Solarstrom), gestaltet sich eine Bedarfsdeckung in größerem Umfang mit diesen Energieformen relativ schwierig und versorgungslogistisch komplex.

Darüber hinaus ist der weitaus überwiegende Teil der Energieversorgung und dabei v.a. Anwendungen auf der Ebene des Endenergieverbrauches (Raumheizung, Prozesswärme, Mobilität) in hohem Maße brennstoffgebunden. Vom gesamten Weltenergieverbrauch entfallen derzeit (Bezugsjahr 2007) etwas mehr als 90 Prozent auf Brennstoffe, darunter etwas mehr als 80 Prozent auf fossile Energieträger (Öl, Kohle, Gas) und 10 Prozent auf biogene Brennstoffe bzw. Abfälle. Der Rest verteilt sich auf Kernenergie (6 Prozent) und Wasserkraft sowie sonstige erneuerbare Energieformen (3 Prozent).⁵ Weite Bereiche der Energienutzung werden auch längerfristig weiterhin auf Brennstoffe angewiesen sein. Namhafte Institutionen, wie die European Science Foundation gehen davon aus, dass aufgrund der sich mit großer Wahrscheinlichkeit

⁴ Vgl. International Energy Agency (IEA) 2009.

⁵ Vgl. Brüggemann/Obermeier 2003.

nicht grundlegend ändernden Nutzenergiestrukturen die Energieversorgung auch in weiterer Zukunft zu rund 70 Prozent brennstoffabhängig sein wird.⁶

Brennstoffseitig stehen als Alternative zu den fossilen Brennstoffen derzeit verschiedene Formen von biogener Energie (feste und flüssige Biomassen, Biogas) zur Verfügung. Das für Energiezwecke in Frage kommende Biomassepotential⁷ ist allerdings begrenzt und reicht nach der überwiegenden Zahl der Untersuchungen für eine gesamthafte Substitution der derzeit versorgungsbestimmenden fossilen Energien bei weitem nicht aus. Das im Rahmen einer nachhaltigen Nutzung weltweit verfügbare Potential an Bioenergie wird nach einer neuen umfassenden Untersuchung mit einer Bandbreite von 80 bis 170 PJ beziffert. Ein mittlerer Wert von 120 EJ entspräche etwa einem Viertel des gegenwärtigen Weltprimärenergiebedarfes bzw. rund einem Zehntel des für das Jahr 2050 prognostizierten globalen Energieverbrauchs.⁸ Eine darüber hinausgehende Ausschöpfung des vorhandenen Potenzials wäre zwar denkbar, würde jedoch zu Lasten der Ernährungssicherung und des Naturschutzes gehen. Der in dieser Studie ermittelte Wert steht auch im Einklang mit früheren Studien, die in ihrer Mehrzahl zu einem möglichen weltweiten Versorgungsbeitrag der Bioenergie im Ausmaß von 25 bis maximal 35 Prozent gelangen.⁹

Vor diesem Hintergrund sind denn auch die aktuellen Bestrebungen zu sehen, alternative Biomassearten für die Energienutzung zu erschließen bzw. überhaupt neue Wege zur Gewinnung von Brennstoffen zu entwickeln. Zum erstgenannten Fall ist insbesondere die Produktion von Algenbiomasse zur Herstellung von Pflanzenöl, Biogas oder Wasserstoff zu nennen,¹⁰ im zweitgenannten Fall ist vor allem die Erzeugung von Brennstoffen durch photosynthetische Mikroorganismen sowie die Kraftstoffproduktion auf photochemischem Weg mittels Solarzellen angesprochen.¹¹

⁶ Vgl. European Science Foundation (ESF) 2008.

⁷ Anmerkung: Das sind zum Einen jene Mengen an landwirtschaftlichen Energiepflanzen, die nach Abzug des Nahrungsmittelbedarfes und der rohstofflichen Nachfrage für energetische Zwecke übrigbleiben, zum Anderen Holz aus forstwirtschaftlichen Primärquellen sowie Reststoffe aus der Biomasseverarbeitung.

⁸ Vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2009, S. 101 ff.

⁹ Morris 2006, S. 37 f. sowie Priewasser 2007, S.409 ff.

¹⁰ Vgl. <http://www.welt.de/wissenschaft/article2558141/Forscher-entdecken-Algen-als-Treibstofflieferanten.html>, Zugriff am 05.10.2009; weiters <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung/algen-sorgen-fuer-saubere-energie;1097037> sowie <http://www.algen.fh-hannover.de/Artikel/gruenalgen-geben-gas.html>, Zugriff am 05.10.2009.

¹¹ Vgl. European Science Foundation (ESF), 2008.

Alle diese Ansätze befinden sich jedoch erst im Entwicklungsstadium bzw. in der Phase der Erprobung im Pilotmaßstab. Verlässliche Aussagen über einen späteren großtechnischen Einsatz sind derzeit noch nicht möglich.

3 Solar Fuels als innovative Form chemisch gebundener Alternativenergie

Die bisherigen Bemühungen, zusätzlich zu den verschiedenen Arten von Energiebiomassen weitere Formen chemisch gebundener erneuerbarer Energien zu generieren, konzentrierten sich in erster Linie auf Wasserstoff (H₂). Auf elektrolytischem Wege mittels Strom aus Wind, Solarenergie, Wasserkraft oder anderen erneuerbaren Energiequellen gewonnen, stellt Wasserstoff eine an sich einsatzreife Nicht-Biomasse-Brennstoffalternative dar. Dass Wasserstoff sich als Brennstoff- bzw. Kraftstoffalternative bislang nicht etablieren konnte, liegt vor allem daran, dass Transport und Speicherung (über Hochdruckbehälter oder Flüssigwasserstoffspeicher mit minus 254°C) technisch relativ aufwendig sind und auch die dafür nötige Transport- und Verteilinfrastruktur erst flächendeckend aufgebaut werden müsste. Auch ist die gravimetrische Energiedichte von 8,5 MJ/Liter flüssigem Wasserstoff vergleichsweise gering.

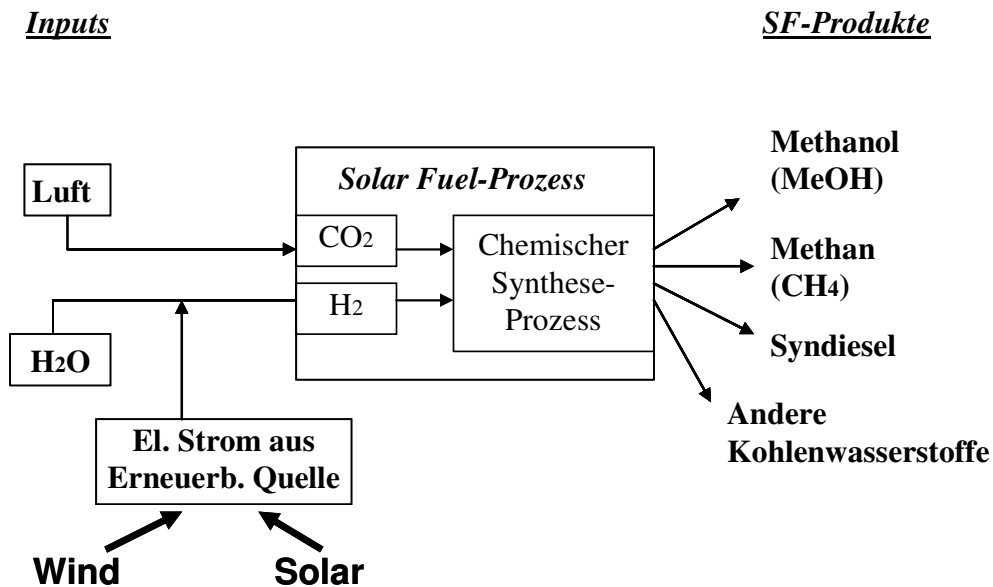
Demgegenüber wurde in jüngerer Zeit ein Verfahren für eine Brennstoffalternative bis zur Praxisreife entwickelt, welches zwar Wasserstoff als eine Basiskomponente nutzt, diesen jedoch mit (atmosphärischem) CO₂ zu flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen synthetisiert. Die zuvor genannten Nachteile von Wasserstoff als Monobrennstoff werden damit vermieden. Zudem fügt sich diese Brennstoffalternative in bestehende Energieversorgungs- und Technologiestrukturen gleichsam friktionsfrei ein. Das Grundprinzip dieses Syntheseprozesses zur Herstellung von regenerativem Methanol oder Methan (Syngas) ist bereits seit längerem bekannt,¹² die konzeptionellen Grundlagen für die Extraktion des Kohlendioxids aus der Umgebungsluft und die Idee zu einer neuen „Methanolökonomie“ auf regenerativer Basis wurden hingegen erst in jüngerer Zeit vom Nobelpreisträger George A. Olah und seiner Forschergruppe entwickelt.¹³ In einem Forschungsprojekt der Johannes Kepler Universität Linz wurde vor dem Hintergrund der aktuellen klimapolitischen und energiewirtschaftlichen Herausforderungen dieser Syntheseprozess unter der Marke „Solar Fuel“ weiterent-

¹² Vgl. Specht/Zuberbühler/Bandi 2004, S. 34 f.

¹³ Vgl. Olah/Goepfert/Prakash 2006, S. 243 ff.

wickelt und in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Stuttgart (ZSW) und der Fraunhofergesellschaft zur Anwendungsreife gebracht.¹⁴ Das Prinzip des „Solar Fuel“-Prozesses ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Abb. 1: Grundschemata des Solar Fuel-Prozesses



Quelle: Priewasser/Steinmüller/Kollmann/Tichler/Felber, 2009.

Zu regenerativen Energieträgern (bzw. auch Chemierohstoffen) werden die so gewonnenen Kohlenwasserstoffe unter der Voraussetzung, dass die Energie für den Erzeugungsprozess aus erneuerbaren Quellen kommt, allen voran die den Prozessenergiebedarf bestimmende elektrische Energie zur Bereitstellung des Wasserstoffes mittels Elektrolyse. Als erneuerbare Stromquellen kommen hierfür insbesondere Windenergie oder Solarenergie (thermisch oder photovoltaisch genutzt) in Frage. Aufgrund des technisch relativ einfachen Transportes der erzeugten Kohlenwasserstoffe (z.B. mittels Tankschiffen) lassen sich dabei auch verbraucherferne Standorte ohne Anbindung an ein Leitungsnetz sinnvoll nutzen, wie im Falle der Windenergie Off-Shore-Standorte im offenen Meer oder bei Solar- bzw. PV-Anlagen Wüstengebiete mit hoher Sonneneinstrahlung.

¹⁴ Siehe dazu die Webseite der Proponenten dieses Projektes unter <http://www.solar-fuel.com/>, Zugriff am 25.05.2010.

4 Einsatzoptionen für Solar Fuels im Kraftstoffbereich

Eine besondere Herausforderung der Energie- und Klimaschutzpolitik in den entwickelten Industrieländern, und künftig besonders auch in den wirtschaftlich sehr dynamischen Schwellenländern, stellt der Verkehrssektor dar. Dies vor allem deshalb, da der Energieverbrauch im Verkehrsbereich - und mit ihm die energiebedingten CO₂-Emissionen – durch eine überdurchschnittliche Aufwärtsentwicklung gekennzeichnet sind. In der EU betrug Energiebedarfszuwachs des Transportsektors in den Jahren 1991 bis 2004 im Durchschnitt 2,3 Prozent pro Jahr. Knapp drei Viertel davon entfallen auf den Straßenverkehr und damit auf Kraftstoffe. Der Anteil des Transportsektors am gesamten Endenergieverbrauch in der EU beträgt 34 Prozent. In jüngsten Prognosen wird für den Verkehrsbereich bis 2020 selbst unter klimapolitisch optimistischen Annahmen („New Energy Policy–Szenario“) ein Verbrauchszuwachs von 6 bis 8 Prozent erwartet, im Baseline-Szenario hingegen ein Anstieg um 17 bis 21 Prozent.¹⁵

4.1 Probleme und Grenzen der Gewinnung von Kraftstoffen aus landwirtschaftlichen Rohstoffen

Die bisherigen politischen Anstrengungen, fossile Kraftstoffe zumindest teilweise durch erneuerbare Alternativen zu substituieren, konzentrierten sich im Wesentlichen auf den Einsatz von Treibstoffen aus Biomassen. Dabei wurden allerdings auf verschiedenen Ebenen bereits Probleme und Grenzen eines vermehrten Heranziehens speziell von landwirtschaftlichen Flächen für die Kraftstoffgewinnung deutlich erkennbar.

Diese betreffen zum Einen die potentielle Flächenkonkurrenz zwischen Biokraftstoffproduktion und Nahrungsmittelerzeugung. So werden die im Zeitraum zwischen 2006 und 2008 außergewöhnlich starken Anstiege der Weltmarktpreise für pflanzliche Nahrungsmittelgrundstoffe - allen voran bei den auch treibstoffrelevanten Kulturarten Mais und Soja - zu einem nicht unerheblichen Teil der gestiegenen Nachfrage nach Agrokraftstoffen zugeschrieben. Ein signifikanter Einfluss wird dabei vor allem in den Substitutionsbestrebungen der USA gesehen, wo derzeit bereits etwa ein Viertel der

¹⁵ Vgl. Leblond 2009.

Maisernte in die Biospritproduktion fließt.¹⁶ Bis zum Jahr 2022 soll hier gemäß der Renewable Fuels Directive die Ethanolproduktion von aktuell 34 Mrd. Liter auf 136 Mrd. Liter pro Jahr vervierfacht werden.¹⁷ Demgegenüber ist das Volumen der Biomassekraftstofferzeugung innerhalb der europäischen Landwirtschaft bislang noch gering: Die derzeit 2 Prozent Biokraftstoffanteil am gesamten Treibstoffverbrauch (Stand 2008) nehmen bisher lediglich rund 1 Prozent der gesamten EU-Getreideernte in Anspruch. Substitutionsziel der Europäischen Union ist es jedoch, den Anteil von Biokraftstoffen im Verkehrssektor bis zum Jahr 2020 auf 10 Prozent anzuheben.¹⁸ Seitens der Generaldirektion Landwirtschaft wird für das Erreichen dieses Zieles von einem Flächenbedarf im Ausmaß von 15 Prozent des kultivierungsfähigen Landes ausgegangen, wofür großteils Stilllegungsflächen aus überschüssiger Nahrungs- und Futtermittelerzeugung herangezogen werden sollen.¹⁹

Vom Standpunkt der Welternährung aus betrachtet gibt es deutliche Vorbehalte gegen eine Ausweitung der Produktion von Biomasse-Treibstoffen. So sieht etwa der UN-Sonderbeauftragte Olivier de Schutter die oben angesprochenen starken Anstiege der Nahrungsmittelpreise in den vergangenen Jahren im Ausmaß von 40 bis 75 Prozent in der Nachfrageentwicklung bei Agrotreibstoffen begründet. Eine Ausweitung der Ackerflächennutzung für Biokraftstoffe, wie sie von den USA und Europa für das nächste Jahrzehnt geplant sind, hält er vor dem Hintergrund gegenwärtiger Defizite in der Welternährung für nicht vertretbar.²⁰

Eine zweite Diskussionsebene in Zusammenhang mit der Agrokraftstoffproduktion betrifft deren mögliche ökologische Belastungen. Da Energiepflanzen nicht zuletzt aufgrund des Wettbewerbsdrucks durch fossile Referenzenergien häufig in landwirtschaftlichen Intensivnutzungen produziert werden, existieren diesen gegenüber von umweltpolitischer und umweltwissenschaftlicher Seite gewichtige Vorbehalte. Als signifikante ökologische Risikofaktoren einer forcierten Energiepflanzenproduktion für Biokraftstoffe auf intensiv genutzten Ackerstandorten werden etwa von der Europäischen Umweltagentur Auswirkungen auf die biologische Vielfalt sowie er-

¹⁶ Vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2008, S. 4 und Kommission der Europäischen Gemeinschaften – Directorate General for Agriculture and Rural Development 2007, S. 5 f.

¹⁷ Vgl. Fischer 2008, S. 12.

¹⁸ Vgl. dazu Kommission der Europäischen Gemeinschaften – Directorate General for Agriculture and Rural Development 2007, S. 5 f.

¹⁹ Vgl. EurActiv Network, 2008.

²⁰ Vgl. Agriculture Suisse 2008.

höhte Belastungen des Boden- und Wasserhaushaltes ins Treffen geführt.²¹ In ähnlicher Weise geht auch der Deutsche Rat von Sachverständigen für Umweltfragen von der Möglichkeit bzw. Wahrscheinlichkeit erhöhter Umweltbelastungen (Nährstoffauswaschungen, Pestizideinträge ins Grundwasser, Strukturschäden im Boden, verringerte Artenvielfalt u.a.m.) durch intensiv angebaute Energiepflanzen aus. Vor allem großflächige Monokulturen werden hierbei als kritisches Moment ins Treffen geführt.²²

Um schwerwiegenden ökologischen Beeinträchtigungen durch die Produktion von Energiebiomassen vorzubeugen, wurde in der EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien (Richtlinie 2009/28/EG) die Einhaltung bestimmter Nachhaltigkeitskriterien festgelegt. Diese sehen u.a. vor, dass Biokraftstoffe nicht aus Rohstoffen hergestellt werden, die auf Flächen mit hohem Wert hinsichtlich der biologischen Vielfalt (z.B. Regenwälder, Naturschutzgebiete, extensiv genutztes Grünland) oder mit hohem Kohlenstoffbestand (z.B. Feuchtgebiete, Wälder) erzeugt werden. Ebenso sind bestehende Torfmoore ausgeschlossen.²³

Ein dritter zentraler Diskussionspunkt ist das Ausmaß der effektiven Klimaentlastung durch den Einsatz von Agrokraftstoffen, welches unter erheblichen Vorbehalten gesehen wird. Dies insbesondere deshalb, da die Produktion von Biodiesel (RME, FME)²⁴ bzw. von Ethanol als Benzinsubstitut über die gesamte Bereitstellungskette hinweg selbst Einsätze von fossiler Energie erfordert (z.B. für die Düngemittelherstellung) und der Einsatz von Stickstoffdünger im Energiepflanzenbau zu besonders klimawirksamen Lachgasfreisetzungen aus dem Boden führt. Zwar zeigt sich aus einer Mehrzahl der hierzu vorliegenden Studien, dass Biokraftstoffe zumeist eine „Nettoreduktion“ im Ausstoß von Treibhausgasen gegenüber fossilen Kraftstoffen erbringen,²⁵ doch ist diese in hohem Maße von den jeweiligen Randbedingungen (Energieertrag je Hektar, Stickstoff-Düngerbedarf, Ausmaß der energetischen Nutzung der Nebenprodukte und Reststoffe) abhängig. Um ein verlässliches Maß an tatsächlicher Klimaentlastung durch Biokraftstoffe sicherzustellen, sieht die bereits zitierte EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien vor, dass die effektive Minderung der Treibhausgasemissionen durch Biokraftstoffe gegenüber fossilen

²¹ Vgl. European Environment Agency (EEA) 2006, S.22 ff.

²² Vgl. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 2007, S. 41 ff.

²³ Vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2009): Richtlinie 2009/28/EG.

²⁴ Anmerkung: RME = Rapsmethylester (Dieselsubstitut auf Basis Rapsöl); FME = Fettsäuremethylester (allgemeine Bezeichnung für Dieselsubstitute auf Basis von Pflanzenölen).

²⁵ Vgl. United Nations 2007.

Kraftstoffen aktuell mindestens 35 Prozent, ab 2017 zumindest 50 Prozent und ab 2018 jedenfalls 60 Prozent betragen muss.²⁶

Konkrete Verbesserungen der ökologischen Situation sowie der effektiven Klimaentlastung im Rahmen der Biokraftstoffproduktion werden zurzeit vor allem von der angestrebten Erweiterung des Rohstoffspektrums für Bio-Treibstoffe in Richtung Lignozellulose (Stroh, Gräser, Holz, Miscanthus u.a.) erwartet. So wurde im Zuge der Beschlussfassungen zur Klimaschutzstrategie 20-20-20 von Seite des Europäischen Parlaments explizit gefordert, dass mindestens 40 Prozent des EU-Zieles bis 2020 mit Biokraftstoffen der zweiten Generation, d.h. Treibstoffen aus Nicht-Nahrungspflanzen erreicht werden sollen. Weiters wurden in diesem Zusammenhang auch Fahrzeugantriebe auf Basis von Strom aus erneuerbaren Quellen bzw. Antriebe auf der Basis von Wasserstoff als anzustrebende Alternativlösungen genannt.²⁷

4.2 Spezifische Vorteilsmomente von Solar Fuels als Kraftstoffalternative

Von der Realpolitik wie auch von der Energiewirtschaft als Kraftstoffalternative bisher weitgehend unbeachtet geblieben sind die hier thematisierten Solar Fuels. Dies ist insofern bemerkenswert, als die aus dem Solar Fuel-Prozess gewonnenen Brenn- bzw. Treibstoffe sich im Vergleich zu Biomasse-Kraftstoffen in ressourcenwirtschaftlicher wie auch in klimapolitischer Hinsicht als wesentlich effizienter erweisen.

Ressourcenwirtschaftlich von großem Vorteil ist vor allem der Umstand, dass die Herstellung von Solar Fuel-Produkten keine biologisch produktiven Landflächen in Anspruch nimmt und somit weder eine Flächenkonkurrenz zur agrarischen Nahrungsmittel- und Rohstofferzeugung besteht, noch ökologische Belastungen wie sie mit einer intensiven landwirtschaftlichen Bodennutzung häufig einhergehen, auftreten. Die Flächenansprüche aus dem Solar Fuel-Prozess resultieren im Wesentlichen aus den Flächenbedarfen für die Erzeugung des Stroms zur Gewinnung von Wasserstoff, der neben dem atmosphärischen Kohlendioxid zweiten Grundkomponente für die Synthese von Methan oder Methanol. Im Falle der Stromgewinnung mittels Windenergie aus Off Shore-Anlagen wird dieser Flächenbedarf auf dem offenen Meer wirksam, im Falle der solaren Stromerzeugung in sonnenreichen Gegenden entfällt dieser vorzugsweise auf Wüstenstandorte.

²⁶ Vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2009): Richtlinie 2009/28/EG.

²⁷ Vgl. EurActiv Network 2008.

Abgesehen davon, dass man bei der Produktion von Solar Fuels ohne land- und forstwirtschaftliche Flächen auskommt, fällt hier auch der energetische Flächenertrag um ein Vielfaches höher aus als bei der Gewinnung von Brenn- und Kraftstoffen aus Biomasse. So kann bei Windkraftanlagen an günstigen Standorten mit einem Stromertrag von 41,700.000 kWh pro Hektar und Jahr, bei Photovoltaikanlagen immerhin noch von jährlichen 480.000 kWh je Hektar ausgegangen werden.²⁸ Bei dem derzeit realisierbaren Umwandlungswirkungsgrad der eingesetzten elektrischen Energie in Kohlenwasserstoffe im Solar Fuel-Prozess von 50 Prozent, halbiert sich der flächenbezogene jährliche Energieertrag pro Hektar auf rd. 21.000.000 kWh bei Basisenergie Windstrom bzw. 240.0000 kWh bei Basisenergie PV-Strom.

Im Vergleich dazu werden bei Biomassen in der derzeitigen Anbaupraxis bestenfalls Energieerträge von 50.000 bis 60.000 kWh pro Hektar (Chinaschilf, Silomais-Ganzpflanzennutzung, Kurzumtriebsholz) erzielt.²⁹

Die Flächenpotentiale für eine Energiegewinnung durch Solar Fuel sind enorm groß. Im Falle der Windenergie stehen mit den Meeresoberflächen theoretisch rund 361 Mio. km² (71% der Gesamtfläche) zur Verfügung, die Wüstenflächen nehmen mit fast 30 Millionen Quadratkilometer immerhin nahezu ein Fünftel der gesamten Landfläche der Erde ein.

In klimapolitischer Hinsicht zeichnen sich Solar Fuels bei Substitution von fossilen Brenn- bzw. Kraftstoffen durch maximale Effekte der Klimaentlastung aus. Während – wie bereits oben erwähnt – bei der Erzeugung von Biokraftstoffen entlang der Prozesskette regelmäßig Treibhausgase (THG) freigesetzt werden und die effektive THG-Reduktion, also der „Netto-Entlastungseffekt“ somit meist deutlich unter 100 Prozent gelegen ist, werden bei der Bereitstellung von Solar-Fuel-Treibstoffen keinerlei direkte Emissionen an Treibhausgasen verursacht. Die effektive Klimaentlastung beträgt hier gleichsam 100 Prozent. Bei Biokraftstoffen werden - in Abhängigkeit von der pflanzlichen Rohstoffbasis (Zucker-, Stärke-, Öl-, Zellulosepflanzen), dem Ausmaß der Nutzung der anfallenden Nebenprodukte sowie je nach Einsatzbedarf an fossiler Energie im Prozess der Kraftstofferzeugung - „Netto-Reduktionen“ an Treibhausgasen lediglich zwischen 32 und 69 Prozent bei Einsatz von Bioethanol (EtOH) anstelle von

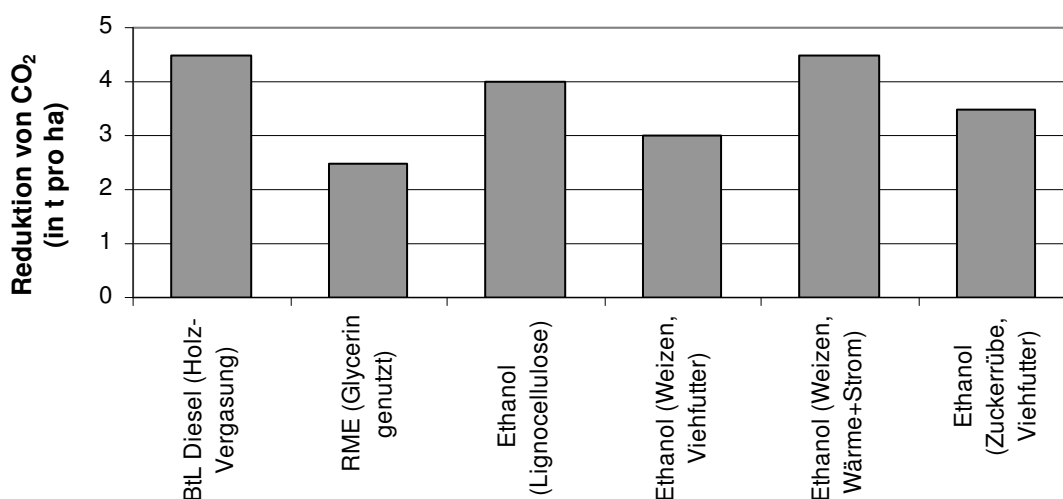
²⁸ Vgl. Schröder 2004, S. 42 sowie <http://www.hamburger-bildungsserver.de/faecher/erdkunde/themen/energie/erw-20.html>, Zugriff am 05.10.2009.

²⁹ Vgl. Kaltschmitt/Hartmann/Hofbauer 2009, S. 180. sowie Sterner 2009, S. 60.

Benzin bzw. solche zwischen 46 und 68 Prozent der Verwendung von Biodiesel anstatt fossilem Diesel erreicht.³⁰

Ein für die Beurteilung der Effektivität des Einsatzes von erneuerbaren Brenn- und Kraftstoffen hinsichtlich der Klimaentlastung besonders wichtiger Indikator ist die je Flächeneinheit erzielbare Treibhausgas-(Netto)reduktion. Diese flächenbezogene Reduktionsleistung ist insofern bedeutsam, als bei einer Substitution von fossilen durch biogene Energieträger á la longue die verfügbare produktive Fläche den am stärksten limitierenden Faktor darstellt, sodass klimapolitisch jene Energie-Biomassen zu bevorzugen wären, mit denen sich die höchsten THG-Reduktionen je Flächeneinheit erzielen lassen. Gemäß einer neueren umfangreichen Untersuchung zahlreicher Pfade zur Gewinnung von Bioenergie bewegen sich die durch Biokraftstoffe primär erzielbaren Treibhausgasreduktionen in einem Bereich zwischen 1,1 und 3,3 Tonnen CO₂-Äquivalent je Hektar.³¹ Berücksichtigt man zusätzlich zu den primären THG-Einsparungen, also jenen die allein durch die Treibstoffnutzung der Hauptfrucht erzielt werden, auch noch die möglichen sekundären THG-Reduktionen durch die Verwertung der anfallenden Nebenprodukte bzw. bezieht man die sogenannten „Biokraftstoffe der 2. Generation“ mit ihren deutlich höheren Treibstoffträgen (mit Zellulose als Basis) mit ein, so sind THG-Minderungen bis zu 5 Tonnen CO₂-Äquivalent je Hektar erzielen (siehe Abb. 2).

Abb. 2: Flächenbezogene CO₂-Reduktionen verschiedener Biokraftstoffe und unterschiedlicher Nebenprodukteverwertungen



Quelle: Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 2007, S. 54. (geringfügig abgeändert)

³⁰ Vgl. Kurzweil/Lichtblau/Pölz 2003, S. 31.

³¹ Vgl. Sterner 2009, S. 73 ff.

Wird Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen als Kraftstoff verwendet, so fällt die Klimaentlastung zumindest doppelt so hoch aus.³² Im Vergleich dazu liegen die bei Substitution von fossilen Kraftstoffen durch Solar Fuels je Flächeneinheit erzielbaren THG-Reduktionen um ein Vielfaches über jenen der energetischen Biomassenutzung. Ausgehend vom bereits erwähnten Kohlenwasserstofftrag von 21.000.000 kWh pro Hektar bei Solar Fuels auf Primärenergiebasis Windstrom - entsprechend etwa 2,1 Mio. Liter Dieseläquivalent oder 2,4 Mio. Liter Benzinäquivalent - beträgt die effektive Klimaentlastung auf den Hektar bezogen ca. 5.500 Tonnen. Im Falle von PV-Strom als Ursprungsenergie mit einer Kohlenwasserstoffausbeute von 240.000 kWh je Hektar - entsprechend rd. 24.000 Liter Dieseläquivalent bzw. etwas mehr als 27.000 Liter Benzinäquivalent - liegt die effektive flächenbezogene CO₂-Reduktion durch Solar Fuels immerhin noch bei 63 Tonnen CO₂ pro Hektar.

5 Solar Fuels als Speicherlösung für Wind- und Solarstrom

Abgesehen von ihrer Bedeutung als Kraftstoffalternative könnten Solar Fuels zudem einen wesentlichen Beitrag zum Ausgleich der Angebotsschwankungen bei Wind- und Solarenergie als alternative Primärquellen für die Stromerzeugung leisten.

Mit wachsendem Anteil von Strom aus Solar- und Windkraftanlagen bzw. auch aus Kleinwasserkraftanlagen am Elektrizitätsaufkommen erhöhen sich die regelungstechnischen Anforderungen zur Sicherstellung einer bedarfsgerechten, beständigen Versorgung mit elektrischer Energie. Dabei gilt es, einen Ausgleich zwischen Stromüberschüssen in Zeiten eines hohen Angebotes und auftretenden Fehlmengen in angebotsschwachen Phasen zu schaffen. Besonders ausgeprägt ist dieser Ausgleichsbedarf im Falle der Windenergie mit ihren auch kurzfristig starken Schwankungen im Energiedargebot.

Für einen solchen Regelungsausgleich, der im Lichte der politischen Vorgaben für den Ausbau der Stromversorgung auf Basis erneuerbarer Energien bis 2020³³ zusehends dringender wird,³⁴ bieten sich drei grundsätzliche Lösungswege an, nämlich

³² Vgl. Faulstich/Greiff 2008, S. 176

³³ Anmerkung: Insgesamt könnten in Europa nach den vorliegenden politischen Beschlüssen im Jahr 2020 bis zu 40% des Stroms aus erneuerbaren Primärenergien stammen, bis zu einem Drittel davon aus Windenergie. Siehe dazu Commission of the European Communities, 2007 S. 19 f.

³⁴ Vgl. dazu Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) und Energy Environment Forecast Analysis (EEFA) 2007, S. 20.

- die Bereithaltung von Reserveleistungen in Form von „Schattenkraftwerken“ (z.B. Gaskraftwerke, die bei Flaute rasch hochgefahren werden können) oder von erhöhter Regelleistung durch auf Niedriglast laufende Kraftwerke, die im Bedarfsfall rasch Fehlbedarfe decken können;³⁵
- die Vernetzung verschiedener Formen erneuerbarer Stromproduktion mit jeweils unterschiedlichen Aufkommenscharakteristika, wie sie aktuell etwa von verschiedenen Nordsee-Anrainerstaaten in Gestalt eines transnationalen Verbundes von Windstromproduktion und Strom aus Großwasserkraft beabsichtigt wird;³⁶
- die Speicherung von Stromüberschüssen auf physikalischem oder chemischem Wege in Zeiten der Bedarfsüberdeckung.

Während physikalische Formen der „Stromkonservierung“ mittels Pumpspeicher oder Druckluftspeicher technisch relativ aufwendig und an spezifische geografische Voraussetzungen gebunden sind,³⁷ und Batterien sich als Speichermedien unverhältnismäßig teuer darstellen, wären Solar Fuels eine geeignete und relativ einfache Alternative, um Überschussstrom aus volatilen erneuerbaren Quellen in chemischer Form zu speichern. Bislang wurde für diese Art der chemischen Stromspeicherung lediglich elektrolytisch gewonnener Wasserstoff in Betracht gezogen, doch würden Solar Fuels – hier etwa in Form von Methanol oder auch Methan – eine Reihe von Vorteilen mit sich bringen.³⁸

- So liegt Methanol aus dem Solar-Fuel-Prozess als Folgeprodukt der Synthese von Wasserstoff und Kohlendioxid nach dem Syntheseprozess – im Gegensatz zu Wasserstoff alleine - bereits in flüssiger und damit in einer unmittelbar gut speicherbaren Form vor.
- Zudem weist Methanol mit 17,9 MJ/Liter eine mehr als doppelt so hohe gravimetrische Energiedichte auf als flüssiger Wasserstoff (8,5 MJ/Liter).
- Ferner ist Methanol – anders als Wasserstoff - bei normalen Umgebungstemperaturen sehr gut als Brennstoff zu handhaben und auch dezentral speicherbar.

³⁵ Siehe Schröder 2004, S. 56.

³⁶ o.V.: Öko-Stromnetz für Europa 2010.

³⁷ Vgl. Dötsch 2009, S. 35 f.

³⁸ Siehe dazu näher Schlögl/Schüth 2008, S. 249 sowie Sundmacher 2008, S. 232.

- Methanol lässt sich wie Wasserstoff in sogenannten DMFC-Brennstoffzellen³⁹ direktverstromen.

Nimmt man hingegen Methan als primäres Produkt aus dem Solar Fuel Syntheseprozess, so kann dieses wie Erdgas in bereits vorhandenen Infrastrukturen transportiert und gelagert und schließlich in Gaskraftwerken verstromt werden.

6 Resümee

Solar Fuels stellen aus ressourcenwirtschaftlicher, klimapolitischer und gesamtökologischer Sicht als Alternative zu fossilen Energieträgern eine ideale Ergänzung und Erweiterung im Verhältnis zu Biomassebrennstoffen dar. Der Solar Fuel-Prozess ist dem Prinzip nach mit der Energiegewinnung durch die Photosynthese vergleichbar, basiert jedoch – anders als die Erzeugung von Energie-Biomassen – nicht auf biologisch produktiven Landflächen. Somit werden auch keine nachteiligen Einflüsse auf Agrarökosysteme hervorgerufen und es ist auch keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung gegeben.

Klimapolitisch erweisen sich Solar-Fuel-Produkte als besonders vorteilhaft, da ihre Herstellung ohne Freisetzung von Klimagasen geschieht und damit die Klimaentlastung bei der Substitution von fossilen Treibstoffen durch Solar-Fuel-Produkte – im Unterschied zu Biokraftstoffen – gleichsam 100 Prozent beträgt.

Zusammen mit dem Umstand, dass die im Solar Fuel-Prozess gewonnenen Brennstoffe vollständig auf erneuerbarer Primärenergie basieren und das Verfahren selbst relativ wenig Ressourcen beansprucht, werden die Kriterien nachhaltiger Energieversorgung von Solar Fuels in geradezu idealtypischer Weise erfüllt.

³⁹ Anmerkung: DMFC steht für „Direct Methanol Fuel Cell“

Quellenverzeichnis

- Agriculture Suisse (2008): UNO fordert Umdenken von USA und EU zum Thema Biotreibstoffe. Ausgabe vom 10.09.2008. <http://www.agrigate.ch/fr/service/agrinews/agrinews/article/2009/05/06/uno-fordert-umdenken-von-usa-und-eu-zum-thema-biotreibstoffe/> sowie zum UN-Bericht im Original: www.righttofood.org/A62289.pdf, Zugriff am 14.05.2010.
- Brüggemann, D./Obermeier, A. (2003): Unsere Energieversorgung. Fakten von heute – Perspektiven für morgen. http://www.neu.uni-bayreuth.de/de/Uni_Bayreuth/Startseite_old/foerderorganisationen/download/forum-kirche-universitaet-energieversorgung/vortrag-brueggemann.pdf, Zugriff am 14.05.2010.
- Commission of the European Communities (2007): Renewable Energy Road Map – Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament; COM (2006) 848 final. Brussels.
- Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten (Hausdruck). Juli 2007.
- Dötsch, Ch. (2009): Speicherperspektiven für erneuerbaren Strom. In: Umweltmagazin, Jg. 2009, Ausgabe April/Mai, S. 35-37.
- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) und Energy Environment Forecast Analysis (EEFA) (2007): Studie Energiewirtschaftliches Gesamtkonzept 2030. (Beauftragt vom Verband der Elektrizitätswirtschaft). Erweiterte Szenariendokumentation. Köln.
- EurActiv Network (2008): Biokraftstoffe für den Verkehr. <http://www.euractiv.com/de/verkehr/biokraftstoffe-verkehr/article-152944>; Zugriff am 14.05.2010.
- Europäische Union (2010): Politikbereich Umwelt – Klimawandel. http://europa.eu/pol/env/index_de.htm, Zugriff am 11.05.2010.
- European Environment Agency (EEA) (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No 7/2006. Copenhagen.
- European Science Foundation (ESF) (2008): Harnessing Solar Energy for the Production of Clean Fuels. (Science Policy Briefing, Nr. 34, September 2008).
- Faulstich, M./Greiff, K. B. (2008): Klimaschutz durch Biomasse. Ergebnisse des SRU-Sondergutachtens 2007. In: Umweltwissenschaft und Schadstoffforschung 20, S. 171-179.
- Fischer, K. (2008): Kraftstoffe. Agrosprit in den USA. In: Umweltschutz, Jg. 2008, Ausgabe März. S. 8-13.
- International Energy Agency (IEA) (2006): World Energy Outlook 2006. Paris.
- International Energy Agency (IEA) (2009): World Energy Outlook (2008), <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008.pdf>, Zugriff am 12.05.2010.
- Kaltschmitt, M./Hartmann, H./Hofbauer, H. (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Technik und Verfahren. Berlin, Heidelberg.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften – Directorate General for Agriculture and Rural Development (2007): The impact of a minimum 10% obligation for biofuel use in the EU-27 in 2020 on agricultural market. (AGRI G-2/WMD(2007)). Brussels.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2008): Steigende Lebensmittelpreise - Ansätze der EU zur Bewältigung des Problems. (KOM(2008) 321 endgültig). Brüssel.

- Kurzweil, A./Lichtblau, G./Pölz, W. (2003): Einsatz von Biokraftstoffen und deren Einfluss auf die Treibhausgasemissionen in Österreich (Umweltbundesamt, BE 144). Wien.
- Leblond, D. (2009): Variables to affect EU energy supply, demand to 2020. www.ogj.com/pdf/temp/353646.pdf; Article Date: February 17, 2009, Zugriff am 12.05.2010.
- Morris, C. (2006): Zukunftsenergien. Hannover.
- Olah, G. A./Goepfert, A./Prakash, S. G. K. (2006): Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. Weinheim.
- o.V.: <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung/algen-sorgen-fuer-saubere-energie;1097037> sowie <http://www.algen.fh-hannover.de/Artikel/gruenalgen-geben-gas.html>, Zugriff am 11.05.2010.
- o.V.: <http://www.welt.de/wissenschaft/article2558141/Forscher-entdecken-Algen-als-Treibstofflieferanten.html>, Zugriff am 11.05.2010.
- o.V.: <http://www.hamburger-bildungsserver.de/faecher/erdkunde/themen/energie/erw-20.html>, Zugriff am 11.05.2010.
- o.V.: Öko-Stromnetz für Europa, <http://www.n-tv.de/wirtschaft/Nordsee-Staaten-knuepfen-an-article665784.html>; Zugriff am 16.06.2010
- Priewasser, R. (2007): Wege in Richtung Nachhaltigkeit –Konzeptioneller Anspruch und Grenzen der Realisierung. In: Stelzer-Orthofer, Ch./ Weidenholzer, J. (Hrsg.): Partizipation und Gerechtigkeit. Festschrift Irene Dyk-Ploss. Linz. S. 409-431.
- Priewasser, R./Steinmüller, H./Kollmann, A./Tichler, R./Felber, J. (2009): Solar Fuel. Klima- und energiewirtschaftliche Vorstudie zum gleichnamigen Technik-Projekt an der Johannes Kepler Universität Linz.
- Schlögl, R./Schüth, F. (2008): Transport- und Speicherformen für Energie. In: Gruss, P./Schüth, F. (Hrsg.): Die Zukunft der Energie. Ein Report der Max-Planck-Gesellschaft. München. S. 246-281.
- Schröder, T. (2004): Endliche Welt – Netzstabilität. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation der Siemens AG, Ausgabe Frühjahr 2004, S. 54-56.
- Schröder, T.: Endliche Welt – Energie für die Welt von morgen. Trends. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation der Siemens AG, Ausgabe Frühjahr 2004, S. 41-43.
- Specht, M./Zuberbühler, U./Bandi A. (2003): Kraftstoffe aus erneuerbaren Ressourcen – Potentiale, Herstellung, Perspektiven. Veröffentlichung zur FVS-Fachtagung (ForschungsVerbund Sonnenenergie). Berlin. S. 11-59.
- Sterner, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Renewable Energies and Energy Efficiency, Vol. 14; ed. by J. Schmid. Kassel.
- Sundmacher, K. (2008): Entwicklungslinien der Brennstoffzellentechnologie. In: Gruss, P./Schüth, F. (Hrsg.): Die Zukunft der Energie. Ein Report der Max-Planck-Gesellschaft. München. S. 223-245.
- Umweltbundesamt Wien (2010): Erneuerbare Energieträger, <http://www.umweltbundesamt.at/>, Zugriff am 20.05.2010.
- United Nations (2007): Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers, <http://esa.un.org/un-energy/pdf/susdev.Biofuels.FAO.pdf>, Zugriff am 20.05.2010.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2009): Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin.