

Umweltaspekte des Einsatzes von Brennstoffzellen und ihrer Energieträger

Dr. Andreas Patyk

IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

Wilckensstraße 3

69120 Heidelberg

Tel.: 06221/47 67-38 / Fax: 06221/47 67-19/ e-mail: andreas.patyk@ifeu.de

Kurzfassung

Brennstoffzellen gelten als – zumindest potentiell – besonders umweltschonende Energiewandlungssysteme. Aussagekräftige Einschätzungen der Umweltwirkungen von Energiesystemen müssen allerdings auch die Bereitstellung der Energieträger einbeziehen. Außerdem sollten sich Aussagen zu Umwelteffekten auf realistische Referenzsysteme beziehen. Das geeignete Instrument um entsprechende Analysen durchzuführen ist die Produkt-Ökobilanz. Für stationäre und mobile Anwendungen von Brennstoffzellen mit verschiedenen fossilen und regenerativen Energieträgern und Vergleichsoptionen werden die Ergebnisse von Übersichtsökobilanzen dokumentiert und diskutiert.

1 Einleitung

Die zentrale Rolle der Brennstoffzelle in der aktuellen Diskussion um eine umweltverträgliche Energiebereitstellung und -nutzung ist offensichtlich. Ein ganz wesentlicher Grund liegt in den zumindest potentiell – in bestimmten Systemkonfiguration auch bereits tatsächlich – sehr großen Wirkungsgraden mit daraus folgenden Möglichkeiten zur Schonung energetischer Ressourcen und einer Minderung des anthropogenen Treibhauseffektes. Ein weiterer Aspekt ist die lokale Emissionsfreiheit zumindest bei Einsatz des gegenwärtig noch bei weitem effizientesten Energieträgers für Brennstoffzellen, elementarem Wasserstoff. Schließlich stellt der „Brennstoff“ Wasserstoff in der Theorie die Brücke zu einer völlig umgestalteten Energiewirtschaft dar, da Wasserstoff als idealer Zwischenspeicher von regenerativem Strom gehandelt wird. Diese in Einzelfällen sicher zutreffenden positiven ökologischen Einschätzungen sollten allerdings nicht vorschnell verallgemeinert werden. Konkret:

- Die Umweltverträglichkeit von Brennstoffzellen muss auf der Basis der Umweltwirkungen der gesamten Energieumwandlungsketten, d.h. einschließlich aller der Stromerzeugung in Brennstoffzellen vorgelagerten Prozesse, beurteilt werden.
- Die relative Umweltverträglichkeit von Brennstoffzellen muss im Vergleich mit realistisch gewählten Referenzsystemen bestimmt werden.
- Für bestimmte Umweltwirkungskategorien wie Treibhauseffekt und Versauerung bei einer Untersuchungsoption gegenläufige Ergebnisse müssen in ihrer Bedeutung plausibel eingeschätzt werden.

Das für solche Analysen geeignete Instrument ist die Produkt-Ökobilanz.

In diesem Beitrag sollen anhand von Übersichtsökobilanzen für drei Anwendungsbereiche – zentrale öffentliche Stromerzeugung, BHKW und PKW-Antrieb – ökologische Aspekte des Einsatzes von Brennstoffzellen und der Bereitstellung ihrer Energieträger beleuchtet werden.

2 Methodik: Die Produkt-Ökobilanz

Das Vorgehen bei der Erstellung von Ökobilanzen ist inzwischen in internationalen Normen der so genannten ISO 14000-Familie weitgehend verbindlich geregelt. Mit den Definitionen und Erläuterungen der ISO-Normen /DIN EN ISO 1997ff/ ergeben sich folgende Charakteristika der Produkt-Ökobilanz:

- Die Umweltwirkungen eines Systems werden im Wesentlichen über materielle und energetische In- und Outputflüsse erfasst und beurteilt.
- Es werden vollständige Lebenswege von Produktsystemen betrachtet (von der Förderung der Rohstoffe bis zur Entsorgung bzw. dem Recycling der Produkte nach Ende der Nutzungsphase). Damit werden auch mittelbare Umweltwirkungen erfasst.
- Die gesamten potentiellen Umweltwirkungen aller unter Umständen räumlich und zeitlich sehr unterschiedlichen Abschnitte eines Lebensweges werden saldiert. Damit ist die Ökobilanz standortunabhängig. (Zusätzliche Differenzierungen können allerdings sinnvoll sein; siehe Abschnitt 3.)
- Es werden möglichst alle Arten von Umweltwirkungen erfasst und gegebenenfalls wertend zueinander in Relation gesetzt („Beurteilung“).

Gemäß der erwähnten ISO-Normen umfasst eine Produkt-Ökobilanz vier Arbeitsschritte, so genannte Phasen, die zum Teil iterativ durchgeführt werden und jeweils mehrere Teilschritte enthalten (**Abb. 4-1**).

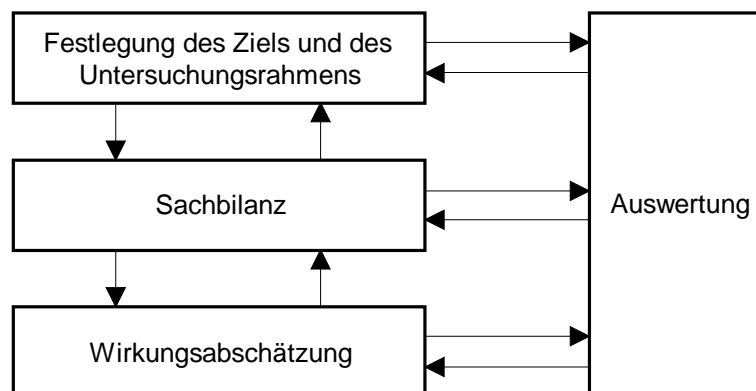


Abb. 2-1 Bestandteile einer Produkt-Ökobilanz nach /DIN EN ISO 1997/

Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens

In diesem Arbeitsschritt werden sowohl Hintergrund, Zweck und Zielgruppe der Studie usw. festgelegt, als auch die funktionale Einheit, die gesamten Lebenswege, geographische und zeitliche Systemgrenzen, betrachtete Umweltwirkungskategorien und Parameter usw. definiert. Die Regeln dazu sind in der ISO-Norm 14041 festgelegt.

Sachbilanz

Die Erstellung der Sachbilanz umfaßt im wesentlichen das Sammeln und Aufbereiten der spezifischen Lebenswegdaten des Untersuchungsobjektes entsprechend den Vorgaben der Zieldefinition und Rahmenannahmen. Wesentliche Teilschritte sind die detaillierte qualitative Beschreibung der gesamten Lebenswege der betrachteten Produkte bzw. Systeme, die Entwicklung eines meist rechnergestützten Modells zur konsistenten quantitativen Beschreibung, die Erhebung spezifischer Daten (Energieverbrauch, Emissionen usw.) für die Einzelprozesse der

Lebenswege und die Verknüpfung der Daten zu Sachbilanzen der Lebenswege mit dem Lebensweg-Modell. Regeln dazu sind ebenfalls in der ISO-Norm 14041 festgelegt.

Wirkungsabschätzung

In der Wirkungsabschätzung werden die in der Sachbilanz erfassten Parameter in Umweltwirkungen übertragen und gegebenenfalls verschiedene Wirkungen zueinander in Relation gesetzt. Gemäß ISO 14042 umfasst die Wirkungsabschätzung verbindlich drei Teilschritte. Die Auswahl von Wirkungskategorien (Beispiel: Treibhauseffekt) erfolgt in der Praxis bereits in der ersten Phase der Produkt-Ökobilanz. In der Klassifizierung werden Sachbilanzergebnissen Wirkungskategorien zugeordnet (Beispiel: Festlegung der in der Sachbilanz zu erfassenden klimarelevanten Stoffe). In der Charakterisierung erfolgt die Zusammenführung der Sachbilanzergebnisse der in der Klassifizierung festgelegten Stoffe z.B. über geeignete Äquivalenzfaktoren zu Wirkungsindikatoren (Beispiel: CO₂-Äquivalente).

Als weitere, optionale Teilschritte sieht die ISO 14042 Bestandteile mit zum Teil subjektiv wertendem Charakter vor. In der Normierung werden die Wirkungsindikatoren als Relevanzprüfung auf die Gesamtwirkung, die z.B. von einem Land ausgeht, bezogen. Im Teilschritt Ordnung werden Wirkungskategorien nach verschiedenen Kriterien wie z.B. räumlicher Maßstab (global, regional, lokal), nominal (Einordnung) oder nach ihrer „Bedeutung“ auf einer ordinalen Skala (Rangbildung) geordnet. In der Gewichtung werden Indikatorergebnisse oder normierte Ergebnisse mit Faktoren gewichtet und gegebenenfalls die gewichteten Indikatorergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien zusammengefasst.

In der Praxis erfolgt die Wirkungsabschätzung auf sehr unterschiedliche Art: Für einzelne Wirkungskategorien wie den Treibhauseffekt oder Versauerung stehen allgemein anerkannte Äquivalenzfaktoren zur Verknüpfung verschiedener Parameter mit gleicher Wirkung zur Verfügung. Für andere Kategorien – insbesondere toxische Wirkungen – ist dies nicht unbedingt der Fall; gegebenenfalls muss dann auf eine Zusammenführung verzichtet werden.

Auswertung

In der Auswertung werden die in der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung erhaltenen Ergebnisse zu einem Gesamturteil zusammengeführt, sowohl hinsichtlich der Belastbarkeit und Aussagekraft der Ergebnisse als auch – dem Zweck der Studie entsprechend – in Form von umweltbezogenen Bewertungen und Handlungsempfehlungen. Rahmenrichtlinien zur Auswertung sind in ISO 14043 festgelegt. Bewertungen sind grundsätzlich nicht objektiv, sondern nur mehr oder weniger plausibel und akzeptiert durchführbar. In der Praxis der Ökobilanzierung stellt die Bewertung daher den problematischsten Schritt dar.

Im Rahmen dieses Beitrags besteht die Auswertung aus einer Diskussion der Ergebnisse auf der Ebene vergleichender Wirkungsbilanzen. Abschließende Bewertungen und/oder Empfehlungen werden *nicht* abgeleitet.

3 Rahmenannahmen und Festlegungen, Datenbasis und Datenqualität

Gegenstand

Die Umweltaspekte des Einsatzes von Brennstoffzellen und ihrer Energieträger in unterschiedlichen Anwendungsbereichen sollen anhand der Ergebnisse von Übersichtsökobilanzen diskutiert werden. Als Übersichtsökobilanzen werden dabei Ökobilanzen mit einer begrenzten Anzahl von Wirkungskategorien, Sachbilanzparametern und erfassten „Hilfsprozessen“ bezeichnet.

Untersucht werden die Umweltwirkungen des Einsatzes von Brennstoffzellen in der zentralen öffentlichen Stromversorgung, zur gekoppelten Strom/Wärmeproduktion in BHKW und zum

PKW-Antrieb mit verschiedenen fossilen und regenerativen Energieträgern im Vergleich zu anderen nutzwert-gleichen Technologien oder repräsentativen Mixen. **Tabelle 3-1** enthält die Liste der untersuchten Optionen und Wirkungsgrade.

Tabelle 3-1 Untersuchte Systeme und Energieträger

Abkürzung	Beschreibung
Zentrale öffentliche Stromversorgung	
EVU-Mix	Kraftwerkspark und Energiesplit der öffentlichen Stromversorgung 2010, η : 33,7% (incl. Brennstoffbereitstellung und Netzverlusten)
EG-SOFC	SOFC + Gasturbine, Erdgas, η : Brutto 65 %, Netto/Brutto 95 %, Netz 94 %
BioH ₂ -SOFC	SOFC + Gasturbine, Synthesegas aus Restholz, η : Brutto 58,5 % (übrige s.o.)
EG-GuD	GuD-KW, Erdgas, η : Brutto 56 % (Netto/Brutto, Netz s.o.)
BioH ₂ -GuD	GuD-KW, Synthesegas aus Restholz, η : Brutto 50,4 % (Netto/Brutto, Netz s.o.)
BHKW	
EVU+EG-Kessel	EVU-Mix + Erdgaskessel, η : elekt. 33,7 %, therm. 90 %
EG-FC-BHKW	PEM-BHKW, Erdgas, η : elekt. 43 %, therm. 38 %
Biogas-FC-BHKW	PEM-BHKW, Biogas (Gülle), η : elekt. 39 %, therm. 38 %
EG-ICE-BHKW	Gasmotor-BHKW, Erdgas, η : elekt. 33 %, therm. 61 %, + EVU-Strom
Biogas-ICE-BHKW	Gasmotor-BHKW, Biogas (Gülle), η : elekt. 30 %, therm. 61 %, + EVU-Strom
PKW-Antrieb	
Otto-ICE	Otto-PKW (ICE: internal combustion engine – Verbrennungsmotor)
fossLH ₂ -ICE	Wasserstoff-Otto-PKW, Flüssig-H ₂ aus Erdgas, zentraler Großreformer
regIU-LH ₂ -ICE	Wasserstoff-Otto-PKW, Flüssig-H ₂ aus regenerativem Strom
BioLH ₂ -ICE	Wasserstoff-Otto-PKW, Flüssig-H ₂ aus Biomasse (Synthesegas aus Restholz)
fossLH ₂ -ICE	H ₂ -Brennstoffzellen-PKW, Flüssig-H ₂ aus Erdgas, zentraler Großreformer
regIU-LH ₂ -ICE	H ₂ -Brennstoffzellen-PKW, Flüssig-H ₂ aus regenerativem Strom
BioLH ₂ -ICE	H ₂ -Brennstoffzellen-PKW, Flüssig-H ₂ aus Biomasse (Synthesegas aus Restholz)
MeOH-FC	Methanol-Brennstoffzellen-PKW (PEMFC), MeOH aus Erdgas
BioMeOH-FC	Methanol-Brennstoffzellen-PKW (PEMFC), Biomethanol aus Restholz

IFEU 2000

Funktionale Einheit

Stromerzeugung für das öffentliche Netz:	1 kWh Strom
Blockheizkraftwerk:	1 kWh Strom + 3,2 MJ Wärme
PKW-Antrieb:	1 Fahrzeug-km

Bezugsraum und -zeit

Den Bezug für den Betrieb der Brennstoffzellen und ihrer Referenzsysteme bildet Deutschland im Jahr 2010. Für die Bereitstellung der eingesetzten fossilen Energieträger wird der Bezugsraum auf die für die Bereitstellung in Deutschland relevanten Länder ausgedehnt. Ein zukünftiges Bezugsjahr wurde gewählt, um wahrscheinliche Entwicklungsfortschritte insbesondere der Brennstoffzellentechnologie berücksichtigen zu können.

Bilanzierungsumfang und -tiefe

Bilanziert wird ausschließlich die Nutzung der betrachteten Systeme, bestehend aus dem eigentlichen Betrieb und der Bereitstellung der dabei verbrauchten Endenergieträger. Nicht betrachtet werden weitere Betriebsstoffe der Nutzungsphase, Produktion und Entsorgung der Brennstoffzellen und Referenzsysteme, Erhaltungsaufwendungen, Verkehrsinfrastruktur, Betriebsmittel zur Produktion von Anlagen und Energieträgern. Diese Abgrenzungen sind erfahrungsgestützt – zumindest für Übersichtsbilanzen – gerechtfertigt durch die relativ geringe

Belastbarkeit der verfügbaren Daten und/oder für alle Vergleichsoptionen ähnliche Effekte und/oder relativ geringe Einflüsse im Vergleich zur Nutzungsphase. Insbesondere letzteres gilt für regenerative Energieträger und für die praktisch emissionsfreien Brennstoffzellen nur eingeschränkt (zu Betriebsmitteln siehe z.B. /DLR 1999/, /PEHNT 2000a,b/).

Wirkungskategorien und Bilanzparameter, Ortsdifferenzierung

Die Auswahl der Sachbilanzparameter ergibt sich aus den betrachteten Wirkungskategorien (**Tabelle 3-2**). Entsprechend dem Anspruch einer Übersichtökobilanz werden hier lediglich die methodisch am wenigsten problematischen Kategorien erfasst. Nicht berücksichtigt werden damit im Wesentlichen direkte human- und ökotoxische Wirkungen, Naturraumbeanspruchung und Lärmbelastung. Die Wirkungskategorie Eutrophierung wird lediglich über luftgetragene Emissionen erfasst.

Für nicht global wirksame Schadstoffe erfolgt die Sachbilanzierung differenziert nach drei Emissionsortsklassen, die unterschiedliche Bevölkerungsdichten widerspiegeln.

Ortsklasse I	Gebiete hoher Bevölkerungsdichte
Ortsklasse II	Gebiete mittlerer bis niedriger Bevölkerungsdichte
Ortsklasse III	Gebiete äußerst niedriger Bevölkerungsdichte bis Dichte 0

Je nach Wirkungskategorie wird die darauf aufbauende Wirkungsabschätzung auf der Basis der Sachbilanzdaten mit Bezug auf nur ein oder zwei der drei Ortsklassen durchgeführt. Die Notwendigkeit dieser Unterteilung ergibt sich daraus, dass für nicht global wirksame Schadstoffe die Wirkungsorte mehr oder weniger eng an den Emissionsort gebunden sind. (Um die maximalen Wirkungen abzuschätzen, d.h. die Standortungebundenheit der Ökobilanz zu erhalten (siehe Abschnitt 2), muss lediglich über die Ortsklassen summiert werden).

Tabelle 3-2 Erfasste Wirkungskategorien, Bilanzparameter und Ortsklassenzuordnung

Wirkungskategorie	Bilanzparameter	Ortsklasse	Aggregierte Wirkungsparameter
Ressourcenverbrauch	erschöpfliche energetische Ressourcen		Kumulierter Energieaufwand (erschöpflich)
Treibhauseffekt	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O		CO ₂ -Äquivalente
Sommersmog (Photomog)	NO _x , NMHC	OK 1+2	NO _x -korrigierte Ethen-Äquivalente (NCPOCP)
Eutrophierung	NO _x , NH ₃	OK 1+2	PO ₄ ³⁻ -Äquivalente
Versauerung	SO ₂ , NO _x , NH ₃ , HCl	OK 1+2	SO ₂ -Äquivalente

IFEU 2000

Datenbasis und Datenqualität

Die wesentlichen systemspezifischen Inputdaten – Wirkungsgrade und Emissionsfaktoren – stammen aus bzw. basieren auf aktuellen Studien /DLR 1999/, /FZJ 1999/, /IFEU 1999/, /IFEU 2000a,b/, /LBST 2000/, /PEHNT 2000a,b/. Zum Teil erhebliche Unsicherheiten können daraus resultieren, dass auf der Basis des gegenwärtigen Entwicklungsstandes der betrachteten Technologien Daten für zukünftige marktreife Systeme abgeschätzt werden. Die Belastbarkeit der Ergebnisse wird durch die spezifischen Begrenzungen einer Übersichtökobilanz limitiert wie z.B. den Ausschluss von Betriebsmitteln oder Hilfsstoffen. Für die betrachteten Wirkungskategorien kann jedoch angesichts der überwiegend relativ großen Differenzen der Salden der Optionen davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisrelationen belastbar sind.

4 Ergebnisse

Abb. 4-1 bis Abb. 4-3 fassen die Ergebnisse in den Wirkungskategorien Versauerung, Eutrophierung, Photosmogbildung und Treibhauseffekt für die drei Anwendungsbereiche zusammen. Dargestellt sind die relativen Differenzen der Optionen jeweils bezogen auf die Referenzoption, die die Null-Linie bildet (negative Werte: Vorteil gegenüber der Referenz). Die nicht abgebildeten Ergebnisse in der Kategorie „Verbrauch erschöpflicher energetischer Ressourcen“ verhalten sich mit einigen, nicht signifikanten Ausnahmen in der mobilen Anwendung wie die des Treibhauseffektes.

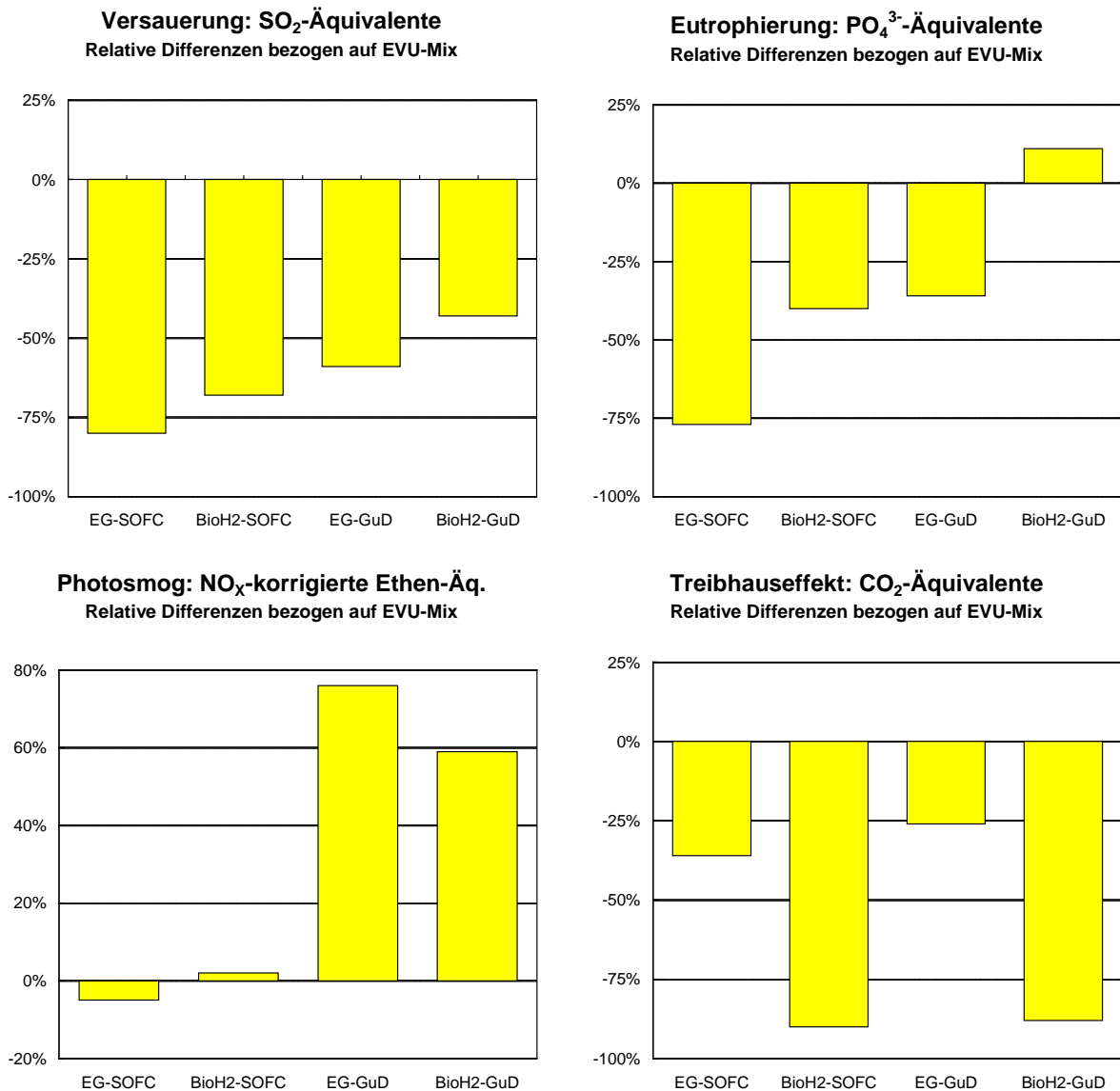


Abb. 4-1 Anwendungsbereich „zentrale öffentliche Stromversorgung“: Relative Differenzen der Wirkungsäquivalente bezogen auf EVU-Mix 2010

Zentrale öffentliche Stromversorgung: Für die Mehrzahl der Optionen und drei Wirkungskategorien ergeben sich deutliche Vorteile gegenüber der Referenz „EVU-Mix“ (Ausnahme: Photosmog; nicht signifikant für SOFC, Nachteil für GuD-Kraftwerk). Die Brennstoffzelle schneidet in allen Kategorien und mit beiden Energieträgern besser ab als das GuD-KW. Für

regionale Wirkungen liefert Erdgas günstigere Ergebnisse (Ausnahme: Photosmog-GuD); beim Betrieb des GuD-KW mit Synthesegas aus Biomasse ergibt sich für die Eutrophierung ein Nachteil relativ zur Referenz. Für die Kategorie Treibhauseffekt liefert erwartungsgemäß Bio-Synthesegas günstigere Ergebnisse.

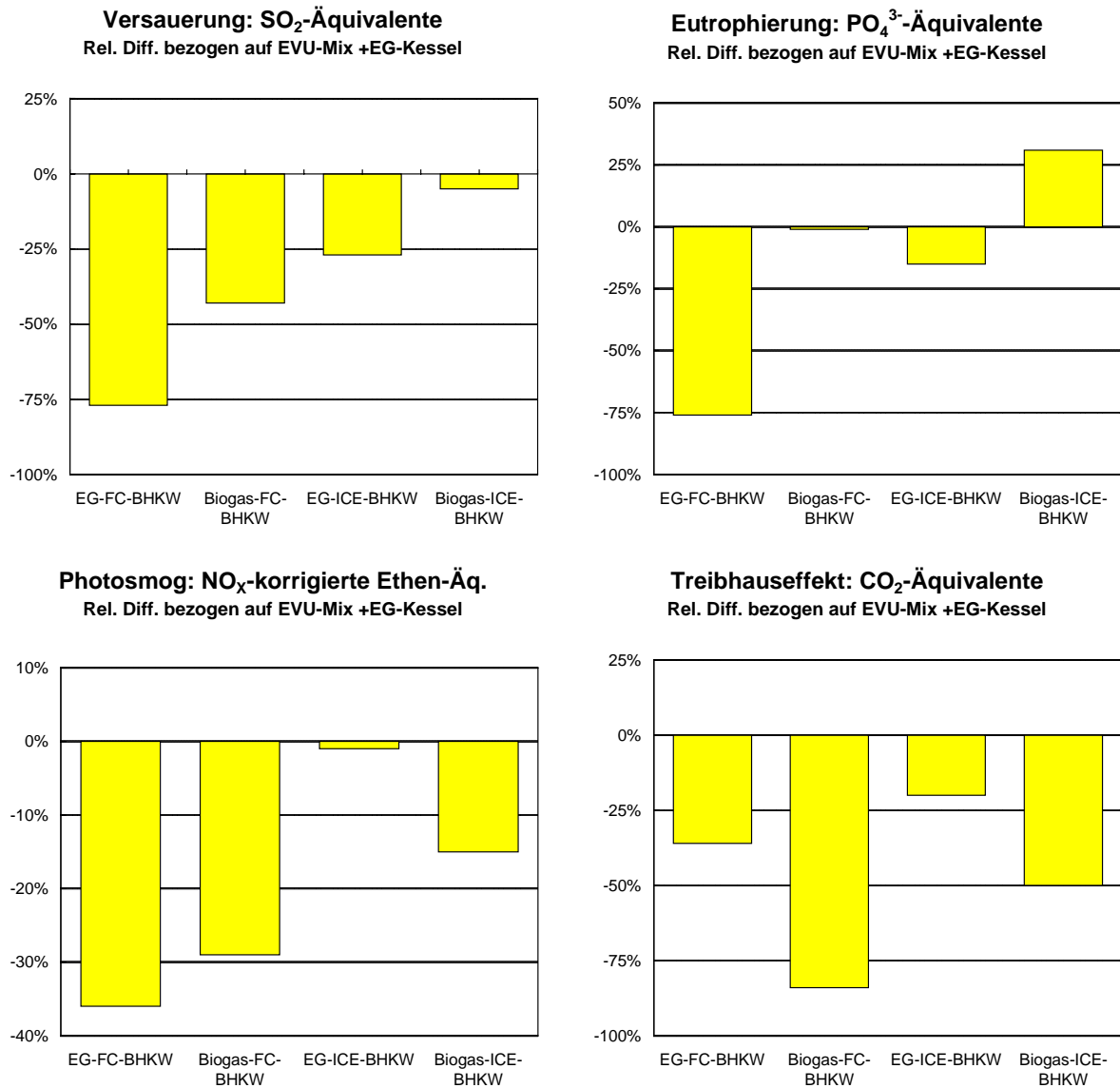


Abb. 4-2 Anwendungsbereich „Blockheizkraftwerk“: Relative Differenzen der Wirkungsäquivalente der Optionen bezogen auf „EVU-Mix + Erdgaskessel“

Blockheizkraftwerk: Für die Mehrzahl der BHKW-Optionen und Wirkungskategorien ergeben sich deutliche Vorteile gegenüber der Referenz „EVU-Mix + Erdgaskessel“. Die Brennstoffzelle schneidet für alle Kategorien und beide Energieträger besser ab als der Gasmotor. Für regionale Wirkungen liefert Erdgas günstigere Ergebnisse; für das Motor-BHKW mit Biogas können auch Nachteile relativ zur Referenz auftreten. Einige Ergebnisse sind nicht signifikant. Für den Treibhauseffekt resultieren auch hier die erwarteten günstigeren Ergebnisse beim Einsatz von Biomasse.

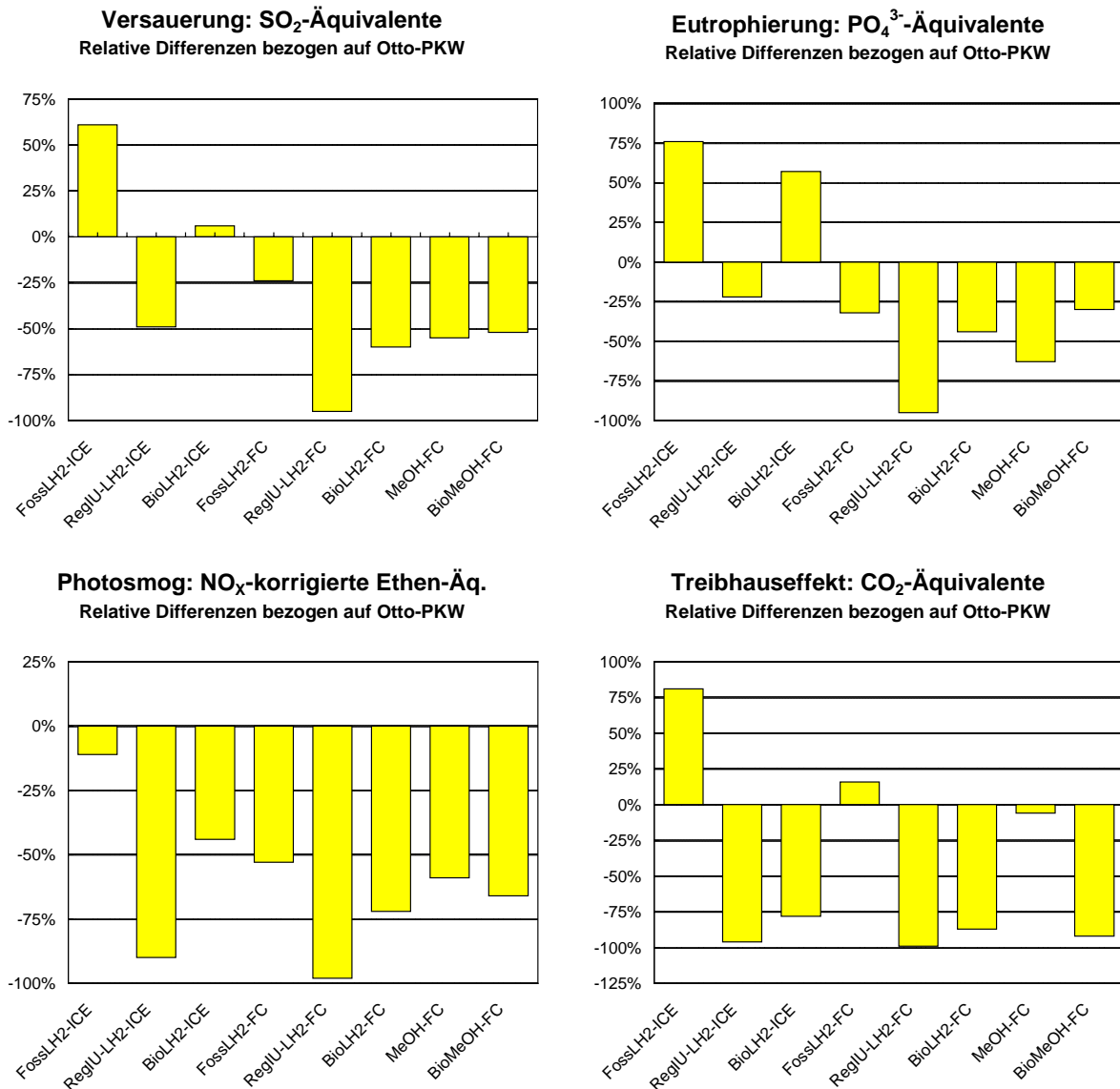


Abb. 4-3 Anwendungsbereich „PKW-Antrieb“: Relative Differenzen der Wirkungsäquivalente der Optionen bezogen auf Otto-PKW (EURO4)

PKW-Antrieb: Für alle Kategorien Vorteile gegenüber der Referenz ergeben sich nur für FC-Fahrzeuge mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff (Synthesegas aus Biomasse, Elektrolyse mit regenerativem Strom (Sonne, Wasser, Wind)) bzw. Biomethanol und für ICE-Fahrzeuge mit Wasserstoff aus regenerativem Strom. Fossiler Wasserstoff und Methanol führen für jedes Antriebskonzept zu Nachteilen bei regionalen Wirkungen und/oder dem Treibhauseffekt.

Zumindest für die stationären Anwendungen liegen die Differenzen zwischen den Energieträgern Erdgas und Biogas bzw. Synthesegas aus Biomasse in ähnlichen Größenordnungen wie die zwischen den Energiewandlungskonzepten Brennstoffzelle und Gasmotor bzw. GuD-Kraftwerk. Dabei ist beim Treibhauseffekt die Spreizung zwischen den Konzepten geringer, die zwischen den Energieträgern größer als bei den regionalen Wirkungen.

5 Folgerungen und Ausblick

Für die hier betrachtete Auswahl an Energieketten und Wirkungskategorien lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Für alle Anwendungsbereiche lassen sich Ketten identifizieren, die für alle betrachteten Wirkungskategorien günstigere Ergebnisse zeigen als die Referenz.
- Die Muster der Ergebnisse (Vorzeichen und Größenordnung der relativen Differenzen) weisen dabei auch zwischen den stationären Anwendungen für einzelne Wirkungskategorien Unterschiede auf. (Das Ergebnis ist bei einem anwendungsübergreifenden Vergleich verschiedener Technologien natürlich trivial, aber zu berücksichtigen bei der Suche nach optimalen Kombinationen von Technologie und Anwendungsfeld.)
- Die *beiden* günstigsten Ketten für jede der beiden stationären Anwendungen sind jeweils Brennstoffzellensysteme.
- Für die betrachteten stationären Anwendungen kann aus diesen beiden nicht ohne weiteres *die* günstigste Kette gewählt werden (Erdgasketten: maximale Vorteile bei regionalen Wirkungen; Biomasseketten: maximaler Vorteil beim Treibhauseffekt). Lediglich für mobile Anwendungen kann die Brennstoffzelle mit Wasserstoff aus der Elektrolyse mit regenerativem Strom (Sonne, Wasser, Wind) als das eindeutige Optimum identifiziert werden.

Je nachdem, welche Bedeutung den einzelnen Wirkungskategorien beigemessen wird, kann auch der Schluss abgeleitet werden, dass der Energieträger die Umweltwirkungen stärker beeinflusst als das Energiewandlungssystem. Gerade dann aber, wenn, zwar (per Definition) nicht erschöpfliche, wohl aber knappe, regenerative Energieträger eingesetzt werden, werden die Wirkungsgradvorteile von Brennstoffzellen bedeutsam. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Brennstoffzellen eher als andere Systeme in der Lage sind, die Umweltnachteile, die mit biogenen Energieträgern verbunden sein können, zu kompensieren. Diese Sichtweise ist zwar weniger visionär als die Idee der schadstoffemissionsfreien Wasserstoffwirtschaft, kann aber für die Praxis durchaus relevant sein.

Konkrete Handlungsanleitungen aus ökologischer Sicht müssen jedoch an umfassendere Untersuchungen der spezifischen ökologischen Effekte, der Entwicklung der Umweltqualität insgesamt und an konkrete Rahmenannahmen zu Marktpotentialen, wie sie sich etwa in /DLR 1999/ finden und Gegenstand der beiden vorhergehenden Beiträge sind (M. Pehnt, U.Bürger, dieser Band), gebunden werden. Dies gilt sowohl für den Vergleich konkurrierender Technologien und Energieträger in einem bestimmten Anwendungsbereich als auch den Vergleich verschiedener Anwendungsbereiche einer Technologie bzw. eines Energieträgers.

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Martin Pehnt (DLR), Herrn Dr. Ulrich Bürger und Herrn Werner Weindorf (beide LBST) für sehr hilfreiche Informationen und fruchtbare Diskussionen.

Literatur

/DIN EN ISO 1997ff/ Deutsches Institut für Normung (DIN, Hrsg.):

DIN EN ISO 14040. Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen.

DIN EN ISO 14041. Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz.

DIN EN ISO 14042. Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung.

Brennstoffzellen... effiziente Energietechnik der Zukunft – Tagung des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem DLR/Stuttgart und dem ZSW/Ulm
Friedrichshafen, 20. und 21. Juli 2000

- DIN EN ISO 14043. Umweltmanagement – Ökobilanz – Auswertung.
Beuth Verlag, Berlin 1997ff
- /DLR 1999/ H. Dienhart, M. Pehnt, J. Nitsch (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt):
Analyse von Einsatzmöglichkeiten und Rahmenbedingungen verschiedener Brennstoffzellensysteme in Industrie und zentraler öffentlicher Stromversorgung. Im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Stuttgart 1999
- /FZJ 1999/ P. Biedermann, K. U. Birnbaum, T. Grube, B. Höhle, R. Menzer, M. Walbeck (Forschungszentrum Jülich): Systemvergleich: Einsatz von Brennstoffzellen in Straßenfahrzeugen. Im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Jülich 1999
- /IFEU 1999/ A. Patyk, U. Höpfner (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg):
Ökologischer Vergleich von Kraftfahrzeugen mit verschiedenen Antriebsenergien unter besonderer Berücksichtigung der Brennstoffzelle. Im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Heidelberg 1999
- /IFEU 2000a/ G.A. Reinhardt, N. Jungk, G. Korsuize, A. Patyk (IFEU/D, coordinator) et al. (BLT/A, CLM/NL, CRES/GR, CTI/I, FAT/CH, INRA/F, TUD/DK): Bioenergy for Europe: Which ones fit best? - A comparative Analyses for the Community. FAIR CT 98 3832, Abschluss bevorstehend
- /IFEU 2000b/ A. Patyk (IFEU): Teilprojekt „Environmental impacts“ in: Proton Exchange Membranes for Application in Medium Temperature Electrochemical Devices. FUMA-Tech/D (coordinator), CNRS/F, CNR/I, University of Strathclyde/UK, University of Perugia/I, EDF/F, SEFAR/CH, IFEU/D, DeNora/I, ERK6-CT 1999-00025, seit März 2000
- /LBST 2000/ U. Bünger, W. Weindorf (Ludwig Bölkow Systemtechnik): persönliche Mitteilungen; Ottobrunn 2000
- /PEHNT 2000a/ M. Pehnt: Ganzheitliche Bilanzierung zukünftiger Energiesysteme: Brennstoffzellen und vorgelagerte Energieketten. Dissertationsentwurf. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und Universität Stuttgart, Stuttgart 2000
- /PEHNT 2000b/ M. Pehnt: Life cycle assessment of fuel cells and relevant fuel chains. HyForum 2000, München 2000