

S. Feifel  
W. Walk  
S. Wursthorn  
L. Schebek  
(Hrsg.)

# Ökobilanzierung 2009

## Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit

# **Ökobilanzierung 2009 – Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit**

Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009 —  
Campus Weihenstephan, Freising, 5. bis 7. Oktober 2009

S. Feifel,  
W. Walk ,  
S. Wursthorn,  
L. Schebek  
(Hrsg.)

## Impressum

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
KIT Scientific Publishing  
Straße am Forum 2  
D-76131 Karlsruhe  
[www.uvka.de](http://www.uvka.de)

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales  
Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft



Diese Veröffentlichung ist im Internet unter folgender Creative Commons-Lizenz  
publiziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>

KIT Scientific Publishing 2009  
Print on Demand

Gedruckt auf Recyclingpapier

ISBN: 978-3-86644-421-8

## Inhaltsverzeichnis

*Walter Klöpffer, LCA Consult & Review, Frankfurt am Main*

Wirkungsabschätzungsmethoden und Querverbindungen – Unterschiede zum Risk Assessment .....	1
--	---

*Michael Srocka, GreenDeltaTC GmbH, Berlin*

openLCA: Open Source Software für Life Cycle Assessments – Stand und Weiterentwicklung.....	11
---	----

*Mario Schmidt, Hochschule Pforzheim*

Die Allokation in der Ökobilanzierung vor dem Hintergrund der Nutzenmaximierung .....	21
---	----

*Heinz Stichnothe, University of Manchester/ von Thünen-Institut, Braunschweig*

Carbon Footprint - Der britische „Standard“ PAS 2050 im Spiegel der Ökobilanz-Methodik und weitere Normierungsbestrebungen.....	39
---	----

*Tobias Viere, Andreas Möller und Martina Prox, Leuphana University of Lüneburg*

Materialflusskostenrechnung – ein Ansatz für die Identifizierung und Bewertung von Verbesserungen in der Ökobilanzierung .....	45
--	----

### Holz als Ressource

*Silke Feifel, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Systemanalytische Betrachtung der energetischen und stofflichen Nutzung forstlicher Ressourcen in Deutschland – das Beispiel der leichten Plattenwerkstoffe .....	55
---	----

*Janine Fischbach, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

Integrierte Nachhaltigkeitsanalyse für Prozessketten ausgewählter Energieholzprodukte .	61
---	----

*Anne Rödl, von Thünen-Institut, Hamburg*

Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen – eine ökologische und ökonomische Optimierung .....	71
--	----

*Stefan Diederichs, von Thünen-Institut, Hamburg*

Ökobilanz Basisdaten für Bauprodukte aus Holz .....	79
---	----

### LCA im betrieblichen Rahmen

*Benjamin Boehnke, Volkswagen AG, Wolfsburg*

Stoffstrommanagement zur ökologischen und ökonomischen Bewertung von Produktionsprozessketten .....	85
---	----

*Boris Dresen, Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen; Melanie Herzog, RWTH Aachen*

Carbon Footprint von Produkten (CFP) – Bilanzierung in kleinen und mittleren Unternehmen .....	91
--	----

*Heidi Hottenroth, Hochschule Pforzheim; Martin Schottler, M+W Zander FE GmbH*

Behandlung von NMVOC-Abgasen in der Halbleiterbauelement- und Solarzellenfertigung – gesamtökologisch sinnvoll? .....	97
---	----

## **Allokation und Systemraumerweiterung**

*Maria Bystricky, Gabriele Weber-Blaschke, TU München*

Die Nutzenkorbmethode als Ansatz zum Vergleich der Strom-, Wärme- und Kraftstoffproduktion aus Energiepflanzen ..... 105

*Hildegund Mötzl, IBO und BOKU, Wien*

Entsorgung von Gebäuden und Gebäudekomponenten – Methodische Fragestellungen 113

*Wolfgang Walk, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Softwareunterstützung zur Erteilung von Verwertungs-Gutschriften in „attributiven“ Ökobilanzen ..... 117

## **Bewertung der Ressourceninanspruchnahme Wasser und Land**

*Georg Schöner, BASF SE und Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Bewertung des Wasserverbrauchs in der Ökoeffizienz-Analyse der BASF ..... 125

*Annekatriin Lehmann, TU Berlin und Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Qualitative und quantitative Indikatoren zur Nachhaltigkeitsbewertung (eines integrierten Wasserressourcenmanagementsystems in einer indonesischen Karstregion)..... 131

*Barbara Urban, von Thünen-Institut, Braunschweig*

Biologische Vielfalt in Ökobilanzen – vom Konzept zur Umsetzung ..... 139

*Sebastian Schmuck, Universität Duisburg-Essen*

Entwicklung eines Verfahrens zur ökobilanziellen Bewertung von Adaptationsmaßnahmen an den Klimawandel ..... 145

## **Material- / Produktinnovationen: entwicklungsbegleitendes LCA**

*Kristian Kuhlmann, RWTH Aachen*

Total Efficiency Control – Ressourceneffiziente Werkzeuge stärken den Werkzeugbau .. 151

*Timo Fleschutz, Technische Universität Berlin*

Berücksichtigung der ökologischen Dimension in Investitionsentscheidungen bei Montageanlagen ..... 157

*Max Marwede, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin*

Rückführung strategischer Metalle – Schließen von Stoffkreisläufen durch Recycling ..... 167

*Barbara Brüggemann, Bergische Universität Wuppertal*

Verfahrens- und Produktentwicklung für die Vulkanfiberproduktion – ein Anwendungsfeld für Ökobilanzen ..... 173

*Eva Zscheschang, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Beiträge der Mikroverfahrenstechnik zu einer nachhaltigen Energieversorgung – eine Systemanalyse ..... 179

*Nico Pastewski, Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart*

Einsatz neuer Technologien zur ressourceneffizienzorientierten Produktoptimierung ..... 185

## **Methodenerweiterung: LCA und darüber hinaus**

*Daniela Kölsch, BASF SE und Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Sozioökonomische Bewertung von Chemikalien unter REACH ..... 193

*Robert Ilg und Jan Paul Lindner, Universität Stuttgart*

Vernetzungsmöglichkeiten von LCA und MFA – Nutzung von Synergieeffekten  
beider Methoden ..... 199

*Kathy Reimann, Technische Universität Berlin*

Suitability of process-based LCA, input-output LCA, MFA and hybrid approaches  
for policy and decision making support..... 207

*Kyra Seibert, Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg*

Lebenszyklusmanagement für KMU der kunststoffverarbeitenden Industrie am Beispiel  
Holz/Kunststoff-Verbundwerkstoffe ..... 211

*Britta Stratmann, Öko-Institut e.V., Freiburg*

Analyse der Umweltauswirkungen der Kaffeezubereitung mittels verschiedener  
Zubereitungssysteme ..... 219

### **LCA Datenformate und Datenaustausch**

*Kristian Jurić, Universität Wien*

pb2es – Konvertierung von Sachbilanzdaten einer öffentlichen Online-Datenbank  
in ein übliches Datenaustauschformat..... 225

*Oliver Kusche, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

International Reference Life Cycle Data Format – Stand und Perspektiven  
für eine verteilte Datenhaltung..... 231

### **LCA über Nutzung und Anbau biogener Energierohstoffe**

*Elisa Dunkelberg, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin*

Umweltbewertung von Biokraftstoff-Systemen: eine kritische Analyse von Annahmen  
und Systemgrenzen..... 239

*Maria Stenull, Universität Stuttgart*

Treibhausgaspotenzial des Energiepflanzenanbaus für Biogasanlagen ..... 245

*Torsten Mielecke, Technische Universität Darmstadt*

Der Baustoff Holz als CO<sub>2</sub>-Senke. Ist das möglich? ..... 253

*Katharina Edler, Frank Schuchardt, Ulf Prüße, von Thünen-Institut, Braunschweig*

Vergleichende Ökobilanz eines fermentativ produzierten Chemie-Rohstoffes aus  
verschiedenen Biomassen..... 259

### **Datenqualität und Datenaktualität**

*Frank Ritter, Technische Universität Darmstadt*

Generierung von Lebensdauer kennwerten ..... 265

*Sibylle Wursthorn, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Nutzung von EPER Daten für die produktbezogene Umweltbewertung..... 271

**Die Ökobilanz-Werkstatt 2009 als Diskussionplattform..... 279**

# Beiträge der Mikroverfahrenstechnik zu einer nachhaltigen Energieversorgung – eine Systemanalyse

*Eva Zschieschang, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Problematik der Energieversorgung ist eine der großen Herausforderungen für die menschliche Gesellschaft im 21. Jahrhundert. Einer stark wachsenden Bevölkerung mit steigendem Lebensstandard und Energiebedarf steht die Verknappung bisher genutzter – auf Kohlenwasserstoffen basierter – Primärenergieträger, und die Auswirkungen der exzessiven Nutzung dieser Primärenergieträger – der verstärkte Klimawandel – gegenüber. Die Entwicklung neuer Technologien zur Energiekonversion und -erzeugung muss dem sich verändernden Gebrauchs- und Verbrauchsverhalten der Gesellschaft genügen. Dieses veränderte Verhalten wird durch andere, neue Technologien – z.B. im Bereich der Informations- und Telekommunikationstechnologien, der Mikrosystemtechnik und in Zukunft auch der Nanotechnologien – hervorgerufen und unterstützt. (Deutsche Stiftung Weltbevölkerung; Max-Planck-Institut für Plasmaphysik 1/2009; BMWI 2009)

Vor diesem Hintergrund soll der Frage nachgegangen werden, welche nachhaltigen Beiträge die Mikroverfahrenstechnik für die Brückentechnologien und die des post-Kohlenstoffzeitalters im Bereich der Energiekonversion und -erzeugung hat.

Innerhalb einer Sachstandsanalyse wurde eine Übersicht zu aktuellen und potentiellen Anwendungsgebieten der Mikroverfahrenstechnik im Bereich der Energiekonversion und -erzeugung erarbeitet, deren wirtschaftliche Potentiale sowie das vorhandene nachhaltigkeitsbezogene systemanalytische Wissen dazu. Die Auswahl eines technologischen Anwendungsfeldes erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Relevanz bezüglich des Klimawandels
- Qualitative/quantitative ökonomische Relevanz
- Konversionseffizienz gegenüber etablierten Verfahren
- Umsetz- und Integrierbarkeit in Energieversorgungs- und -nutzungssysteme

Das Ergebnis der bisherigen Arbeit ist die Auswahl des Anwendungsgebietes und die Konkretisierung des methodischen Vorgehens.

## 2 Grundlagen Mikroverfahrenstechnik

Die Mikroverfahrenstechnik (MVT) ist eine eigene, sich in der Entwicklung befindende, interdisziplinäre Technologie. Die Abmessungen für Reaktionsräume und Strukturen für chemische und/oder physikalische Prozesse der MVT befinden sich im Milli- und Mikrometer-Bereich. Wichtige Effekte dieser Technologie sind ein intensivierter Stoff- und Wärmetransport sowie verstärkte Oberflächenphänomene durch das große Oberflächen/Volumen-Verhältnis. Die sich daraus ergebenden Vorteile gegenüber konventionellen Reaktoren und Anlagen liegen in der Erhöhung der Selektivität und der Ausbeute. Dadurch sinken der Reagenzienverbrauch und der Abfall. Die Prozesse werden typischerweise im Durchflussbetrieb gefahren, bei einem Bereich des Durchsatzes (Stoffmenge pro Zeiteinheit), der die MVT für die industrielle Produktion relevant werden lässt. Um den Durchsatz weiter zu erhöhen, ohne die Anlage hoch zu skalieren (*Scaling up*), können mehrere MVT-Anlagen parallel geschaltet werden (*Numbering up*). Aufgrund der kleinen Dimensionen und modularen Bauweise der Anlagen wird die Produktion vor Ort (*on-site*) und auf Nachfrage (*on-demand*) interessant. (Bazzanella, Pfeifer & Kraut; Hessel u.a. 2009)

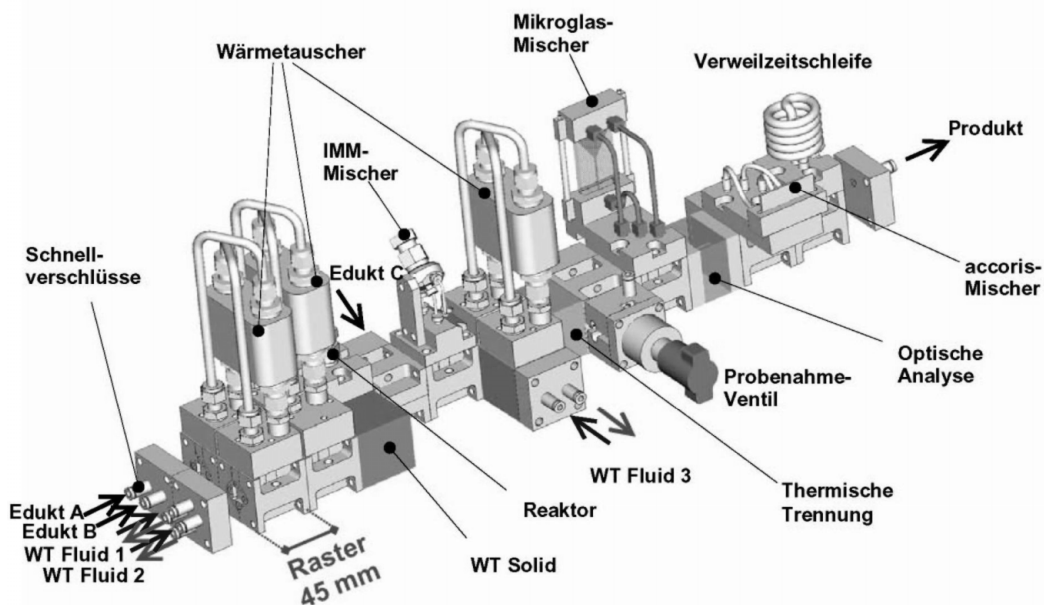


Abb. 1: MicroChemTec-Backbone (Bazzanella)



### **3 MVT zur nachhaltigen Energiekonversion- und -erzeugung**

#### **3.1 Anwendungsfelder und deren Potenziale**

Die MVT kann prinzipiell überall dort in der Energiekonversion und -erzeugung eingesetzt werden, wo chemische Reaktionen im Durchflussbetrieb oder Wärmetransportvorgänge, auch zwischen verschiedenen Aggregatzuständen und Stoffen, stattfinden. Dabei können nur einzelne Komponenten mikroverfahrenstechnisch hergestellt sein oder die gesamte Anlage. Wichtige Komponenten der MVT sind Mikrostrukturreaktoren, Mikrowärmetauscher, Mikromixer, Mikrokanalverteilungsstrukturen und Extraktoren. Ob die Integration von MVT-Komponenten in bestehende Prozessketten ökonomisch und ökologisch rentabel und umsetzbar ist, ist hochspezifisch und kann nicht pauschal abgeschätzt werden. (Hessel u.a. 2009)

Forschung und Pilotprojekte zum Einsatz von MVT-Komponenten (Strukturreaktoren, Wärmetauscher, Kanalsysteme) und Anlagen finden sich vor allem bei der Herstellung von Brenn- und Kraftstoffen aus unterschiedlichen Energieträgern, für Mikroturbinen zur portablen Energieversorgung und für den Einsatz in solarthermischen Kraftwerken (strukturierte Absorberrohre). Hauptanwendungsfelder für Brennstoffzellensysteme sind energieautarke, dezentrale Systeme, mobile Anwendungen im kleinen Leistungsbereich, sowie Fahrzeugantriebe. Die Einsatzgebiete von Anlagen zur Brenn- und Kraftstoffherstellung liegen vor allem in der dezentralen Erzeugung. (Thormann u.a. 2008; Rojas, de Andrés & González 2008; Cho u.a. 2009; Gailfuß 1998; Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH Juni 2004)

Die wirtschaftlichen Potentiale der Energieversorgungssysteme in mobilen Anwendungen mit kleinem Leistungsbereich sind sehr gut, da die spezifischen Kosten des Konkurrenzsystems – der Batterie – mit bis zu 5000 €/kW sehr hoch sind. Es ist außerdem mit einer schnellen Marktdurchdringung zu rechnen, da die momentanen Stückzahlen für Mobiltelefone und Laptops sehr hoch sind – mit steigender Tendenz – und der Produktlebenszyklus mit 2-4 Jahren eher gering ist. In einer Kurzexpertise für die Monopolkommission im Zuge der geplanten Fusion von E.ON. und Ruhrgas wurden Marktanalysen zur dezentralen Energieversorgung in Deutschland durchgeführt. Die Ergebnisse der Studie prognostizieren einen Anstieg von 3 % im Jahre 1998 auf 11,2 % im Jahr 2050 unter Status-Quo Bedingungen, und auf 47,5 % unter einer auf Nachhaltigkeit orientierten Entwicklung, voraus. (Gailfuß 1998; Ramesohl u.a. April 2002)

### **3.2 Eingrenzung des Untersuchungsgebietes**

Als Untersuchungsgebiet wird die dezentrale Kraft- und Brennstoffproduktion gewählt. Gründe dafür sind zum einen die guten Marktprognosen für dezentrale Energieerzeugungssysteme und zum anderen mögliche Beiträge zur nachhaltigen Energieversorgung. Dieser Beitrag entsteht u. a. durch die Einsparungen von Transportenergien der Rohstoffe zu den Anlagen der Brenn- und Kraftstofferzeugung, da durch die Dezentralisierung der Energieerzeugungssysteme die Herstellung weitgehend am Ort der Rohstoffgewinnung stattfindet. Durch die Vorteile der MVT – wie höhere Ausbeuten und verbesserte Selektivität – ist zu erwarten, dass die Konversionseffizienz gegenüber konventionellen Anlagen erhöht wird.

Ein weiterer wichtiger Punkt der nachhaltigen Energieversorgung betrifft neben den ökologischen und ökonomischen die sozialen Aspekte. Eine nachhaltige Energieversorgung ist eine, die nicht nur für wenige privilegierte Volksgruppen, sondern für alle Menschen, Energie komfortabel verfügbar macht. Gerade in Schwellen- und Entwicklungsländern ist die Energieversorgung zurzeit oft nur rudimentär vorhanden. Die in der Mehrheit auf dem Land lebende Bevölkerung gebraucht zur Befriedigung ihrer Grundbedürfnisse (Wärme, Energie zum Kochen, Licht) meist Brennstoffe, deren Nutzungsart und -weise teils gravierende Auswirkungen auf die Umwelt (Holz – großflächige Entwaldungen), aber auch auf die Gesundheit der Menschen (fossile Brennstoffe – Luftverschmutzungen) haben können (Max-Planck-Institut für Plasmaphysik; Hellpap 2009). Die Nachfrage nach Energie wird vor allem in diesen Ländern aufgrund des rasanten Bevölkerungswachstums stark ansteigen. Dezentrale MVT-Anlagen, welche den Bedürfnissen der dort lebenden Menschen in ihrem Umfeld angepasst sind, könnten einen großen Beitrag zur Verringerung des Wohlstandsgefälles und zu einer globalen, nachhaltigen Energieversorgung leisten.

## **4 Weiteres Vorgehen**

In einem ersten Fallbeispiel – einer MVT-Anlage zur Herstellung flüssiger Treibstoffe aus Erdgas mittels Fischer-Tropsch-Synthese – sollen vergleichende LCAs und LCCs zu folgenden Aspekten durchgeführt werden:

- MVT-Anlage gegenüber konventioneller Anlage
- Labormaßstab zu Industriemaßstab (up-scaling für drei Anlagengrößen)
- Untersuchung unterschiedlicher Einsatzgebiete (zentral/dezentral, mit/ohne Netzanbindung, Onshore/Offshore)

- Verschiedene Energieträger als Systemeingangs- (Erd- und Biogas) und Systemsausgangsgröße (flüssige Treibstoffe, Wasserstoff, Strom)

Ergebnis dieser Analyse sollen qualitative und quantitative Aussagen über die Eignung von MVT-Anlagen zur Kraftstoffgewinnung in verschiedenen Umfeldern sein.

Neben den Methoden des LCA und des LCC sollen Möglichkeiten des Gebrauchs des SLCA für die Untersuchung nach der Relevanz der unterschiedlichen regionalen Einsatzgebiete mit herangezogen werden. Inwieweit dies möglich ist, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abgeschätzt werden.

## Literaturverzeichnis

- Bazzanella, A.: Strategisches Forschungsvorhaben und Industrieplattform: Modulare Mikroverfahrenstechnik. URL: <http://www.microchemtec.de/content.php?pageId=23971>
- Bazzanella, A., Pfeifer, P. und Kraut, M.: Foliensatz Mikroverfahrenstechnik.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 2009. IKT (Informations- und Kommunikationstechnologien) – Strombedarf liegt in Deutschland bei über zehn Prozent. URL: [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)
- Cho, J.-H. u.a. 2009: Demonstration of an external combustion micro-heat engine. Proceedings of the Combustion Institute 32, 3099–3105.
- Deutsche Stiftung Weltbevölkerung. Weltbevölkerung. URL: <http://www.weltbevölkerung.de/>
- Gailfuß, M. 1998: URL: [http://www.bhkw-infozentrum.de/innovative/bz\\_awf.html](http://www.bhkw-infozentrum.de/innovative/bz_awf.html)
- Hellpap, C. 2009: Quality and Performance Tests of PICO-PV - Systems.
- Hessel, V. u.a. (Hg.) 2009: Micro Process Engineering. 3. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH Juni 2004. Reformiertechnik für Brennstoffzellen: Energieerzeugung in mikrostrukturierten Reaktoren. (IMMage - The Microneers).
- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik. Fossile Brennstoffe: Braune Wolke über Asien. (Energie Perspektiven).
- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (Hg.) 1/2009: Energieeffizienz: Energieverbraucher information. (Energie Perspektiven).
- Ramesohl, S. u.a. April 2002: Die technische Entwicklung auf den Strom und Gasmärkten: Eine Kurzanalyse der Rolle und Entwicklungsperspektiven neuer dezentraler Energietechnologien und der Wechselwirkungen zwischen technischem Fortschritt und den Akteursstrukturen in den Strom- und Gasmärkten. Wuppertal.
- Rojas, M.E., Andrés, M.C. de und González, L. 2008: Designing capillary systems to enhance heat transfer in LS3 parabolic trough collectors for direct steam generation (DSG). Solar Energy 82, 53–60.
- Thormann, J. u.a. 2008: Reforming of diesel fuel in a micro reactor for APU systems. Chemical Engineering Journal 135, 74–81.