

# Zukunftsworkshop Mikrotechniken für eine effiziente Bioenergieerzeugung 15. Oktober 2007, Dresden

## Konzeptpapier Kurzfassung

Ute Ackermann, VDI/VDE-IT

### Inhaltsübersicht:

1	Ziel des Zukunftswshops .....	2
2	Innovationsfeldbeschreibung .....	3
3	Zusammenfassung und Ausblick.....	5

## 1 Ziel des Zukunftsworkshops

Mit dem Zukunftsworkshop "Mikrosystemtechnik für die effiziente Bioenergieerzeugung" wird ein neuer Weg beschritten: Eine hochinterdisziplinäre Kooperation aus bisher kaum verknüpften Fachbereichen kann zu völlig neuen technologischen Ansätzen und Problemlösungen für aktuelle und drängende Fragen führen. Als Projektträger Mikrosysteme haben wir den Zukunftsworkshop in den Rahmen des zweijährigen Mikrosystemtechnik-Kongresses gestellt.

Im Vergleich zu höheren Landpflanzen liefern natürliche Mikroalgen mehr als zehnfach höhere Biomasseerträge. Aktuelle Arbeiten über biologische Strukturen aus Mikroalgen, Bakterien oder entsprechenden Zellkompartimenten lassen Effizienzsteigerung um mehr als eine weitere Zehnerpotenz erwarten. Wegen des hohen Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnisses und der Vermeidung von Rückvermischung verspricht der Einsatz von Reaktoren nach mikroverfahrenstechnischem Reaktordesign eine Effizienzsteigerung um einen weiteren Faktor 10 gegenüber klassischen Röhrenreaktoren. Schließlich kann ein intelligenter Lichteintrag von Tageslicht, z.B., durch mikrostrukturierte Flächenlichtleiter, die für Anlagen zur Massenkultivierung der Algen benötigte Fläche zehnfach effizienter nutzen. Zur Steuerung und Regelung solcher Anlagen kommen autonome vernetzte Sensorsysteme in Betracht. Die hocheffizient produzierte Biomasse kann zur Produktion von Biogas, Biodiesel, Bioethanol oder Biowasserstoff eingesetzt werden. Die Nutzung von CO<sub>2</sub>-Abgasen aus Kraft-, Zement- oder Kalkwerken beschleunigt das Wachstum der Algen und kann zur Minderung von Treibhausgasen beitragen.

Ziel des Zukunftsworkshops ist es auszuloten, welche Beiträge die Mikrosystemtechnik/Mikroverfahrenstechnik für eine effiziente Bioenergieerzeugung bieten kann. Hierzu werden Fachleute aus den verschiedenen Disziplinen Biologie, Bioverfahrenstechnik, Mikroverfahrenstechnik, Mikrofluidik, Optik und Energieversorgung über ihre Erfahrungen berichten und über gemeinsame Problemlösungsansätze für eine effiziente Bioenergieerzeugung diskutieren. Die Ergebnisse des Workshops können in die Vorbereitung einer entsprechenden Bekanntmachung im Rahmenprogramm „Mikrosysteme“ einfließen.

## 2 Innovationsfeldbeschreibung

Die nachhaltige Versorgung von Wirtschaft und Bevölkerung mit Energie und Rohstoffen ist von zentraler strategischer Bedeutung für jede Volkswirtschaft. Dabei kommt nachwachsenden Rohstoffen aus einer Reihe von Gründen eine besondere Bedeutung zu. Aus nachwachsenden Rohstoffen kann neben und nach ihrer stofflichen Nutzung Bioenergie gewonnen werden. Für Bioenergie gibt es starke Motive: Umweltschützer sehen in der Bioenergie eine Möglichkeit, den Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid zu mindern und dem Klimawandel entgegen zu wirken. Mit Bioenergie könnte der Bedarf an Erdöl reduziert werden, mit dem weitere Umweltbeeinträchtigungen verbunden sind wie zum Beispiel flächenhafte Verschmutzungen in den Förderländern und Belastungen der Meeresökosysteme. Sicherheitsexperten aus den USA weisen auf Bioenergie auch als Mittel hin, die Abhängigkeit von Rohstoffen aus Krisenregionen zu mindern. Durch die Erzeugung von Energie auf eigenem Territorium kann der Geldfluss in solche Regionen und die entsprechende Militärpräsenz verringert werden. Schließlich gibt die Bioenergie der Landwirtschaft in vielen Regionen Europas neue Perspektiven und kann den sozialen Problemen und der Entvölkerung von Landstrichen wie Mecklenburg-Vorpommern entgegen wirken.

Bioenergie ist die energetische Nutzung von Biomasse. Bei der Bildung von Biomasse wird die Energie der Sonnenstrahlung durch Photosynthese genutzt und in Form von energiereichem organischen Material gespeichert. Die aktuelle Diskussion bezieht sich im Wesentlichen auf Nutzpflanzen aus der Land- und Forstwirtschaft sowie auf biogene Abfälle. Neben den höheren Landpflanzen photosynthetisieren auch Algen und bestimmte Bakterien Biomasse.

Gemeinsam ist den bisherigen Ansätzen zur Bioenergieerzeugung eine unbefriedigende Effizienz, die zu einem hohen Flächenbedarf führt und weitere ökonomische und ökologische Probleme nach sich zieht. Die Ökobilanz für Biodiesel aus Raps (RME, Rapsölmethylester) beispielsweise zeigte keine Vorteile gegenüber konventionellem Dieselmotorkraftstoff, zumal kostengünstigere technische Alternativen zur Verminderung der Emissionen und des Ressourcenverbrauchs zur Verfügung stehen (Quelle: Umweltbundesamt). Eine Verbesserung zeichnet sich in den so genannten Biokraftstoffen der zweiten Generation ab (BTL, Biomass to Liquid, höherer Hektar-Ertrag durch Verwendung der ganzen Pflanze statt nur der Ölfrüchte). Soll Bioenergie jedoch einen erheblichen Beitrag zur Energieerzeugung liefern, sind Effizienzsteigerungen um Zehnerpotenzen notwendig.

<p>„Faktor 10“:  <b>Mikroalgen statt  höherer Pflanzen</b></p>	bekannt
<p>„Faktor 10“:  <b>Optimierung der Mikroalgen  mit den neuen Methoden der  Biotechnologie</b></p>	neu wird bearbeitet
<p>„Faktor 10“:  <b>Hohes Oberfläche-zu-  Volumen-Verhältnis durch  Mikroverfahrenstechnik  (ausgedehnte Mikrofluidik)</b></p>	neu unbearbeitet MST
<p>„Faktor 10“:  <b>Flächenminimierung durch  optimierten Lichteintrag  (ausgedehnte Mikrooptik)</b></p>	neu unbearbeitet MST

Einer Lösung dieses Problems kommen technisch-wissenschaftliche Entwicklungen der jüngsten Zeit aus verschiedenen Richtungen entgegen: Im Vergleich zu höheren Landpflanzen liefern natürliche Mikroalgen mehr als zehnfach höhere Biomasseerträge. Aktuelle Arbeiten über biologische Strukturen aus Mikroalgen, Bakterien oder entsprechenden Zellkompartimenten lassen Effizienzsteigerung um mehr als eine weitere Zehnerpotenz erwarten. Wegen des hohen Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnisses und der Vermeidung von Rückvermischung verspricht der Einsatz von Mikroreaktoren aus der Mikroverfahrenstechnik eine Effizienzsteigerung um einen weiteren Faktor zehn gegenüber klassischen Röhrenreaktoren. Eine weitere Optimierung der Fluidynamik kann durch Mikrofluidik und/oder Nanoporositäten in den Reaktoroberflächen möglich werden. Schließlich kann ein intelligenter Lichteintrag von Tageslicht, z.B. durch mikrostrukturierte Flächenlichtleiter, die für Anlagen zur Massenkultivierung der Algen benötigte Fläche wesentlich effizienter nutzen.

Ein beschleunigtes Wachstum der Mikroalgen ergibt sich, wenn man kohlendioxidangereicherte Abgase aus Industrieprozessen wie Kraft-, Zement- oder Kalkwerken nutzt. Dies eröffnet für die Betreiber entsprechender Anlagen die Chance ihre CO<sub>2</sub> Emissionen zu mindern.

Durch den Handel mit Emissionszertifikaten kann die Wirtschaftlichkeit solcher Algenproduktionsanlagen verbessert werden. Mittelfristig sind auch Optionen für eine CO<sub>2</sub>-Sequestrierung durch Ausschleusung der Biomasse aus der Ökosphäre nach dem Vorbild der natürlichen CO<sub>2</sub>-Senken in den Weltmeeren denkbar.

**Nutzung von CO<sub>2</sub> aus Industrieprozessen** *bekannt*

**Emissionszertifikate verbessern Wirtschaftlichkeit** *neu*

**Biomasse umwandeln zu**

- Biodiesel
- Bioethanol
- Biogas

*bekannt*

**Erzeugung von Biowasserstoff durch**

- Zellen
- Zellkompartimente
- Enzyme

*neu wird bearbeitet*

**Oberflächenimmobilisierung von Zellen oder Enzymen**

*neu unbearbeitet MST*

Die hocheffizient produzierte Biomasse kann nach Entwässerung in bekannten Verfahrensschritten zu Biodiesel, Bioethanol oder Biogas umgewandelt werden und in etablierte Vertriebssysteme eingeschleust werden.

Ebenso ist die Einbringung in Bioraffinerien zur stofflichen Nutzung mit überschaubarem technischem Aufwand möglich.

Schließlich kann die Wirtschaftlichkeit durch Koproduktion von Wertstoffen (z.B. Pharmazeutika oder Nahrungsergänzungsmitteln) gesteigert werden.

Eine weitere Option ist die direkte Erzeugung von Wasserstoff entweder in ganzen Zellen, in Chloroplasten oder durch isolierte Enzymsysteme. Für die Isolierung von Enzymsystemen ist die Anwendung von mikrostrukturierten elektrischen Feldern denkbar.

Für die Wasserstoffproduktion könnte auch eine Immobilisierung von ganzen Algenzellen oder Enzymsystemen auf entsprechend präparierten und mikrostrukturierten Oberflächen ein geeignetes technologisches Konzept sein. In diesem Bereich kann Know how aus dem Bereich bioMST übertragen und genutzt werden.

Mikroorganismen lassen sich in geschlossenen Anlagen züchten. Dies bietet den Vorteil, dass keine gentechnisch veränderten Organismen frei gesetzt werden, wie dies bei der entsprechenden Züchtung von Energiepflanzen zu erwarten ist. Ein weiterer Vorteil geschlossener Anlagen besteht im geringeren Wasserbedarf im Vergleich zum offenen landwirtschaftlichen Pflanzenanbau, da die Verdunstung reduziert werden kann. Schließlich können Mikroalgen in geschlossenen Anlagen weniger abhängig von Umweltbedingungen wie Klima, Jahreszeit oder Bodenqualität kontinuierlich ohne Kontaminationen gezüchtet werden. Auch geringwertige Flächen wie z. B. Wüsten könnten genutzt und Biosphärenreservate geschont werden. Eine Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion kann vermieden werden.

Für die Massenkultivierung von Mikroalgen sind großflächige Anlagen mit kostengünstigen Dünnschichtreaktoren zu entwickeln, die das Tageslicht optimal ausnutzen. Zusätzlich zur geometrischen Gestaltung der Reaktoren lässt sich der Lichteintrag in die Reaktoren durch mikrostrukturierte Lichtleiter weiter optimieren. Außerdem können autonome vernetzte Sensorsysteme geeignete Reaktionsbedingungen für Organismen in entsprechend ausgedehnten Flächenanlagen einstellen.

**Vorteile geschlossener Anlagen:**

- **Höhere Produktivität**
- **Keine Freisetzung von GVO**
- **Geringerer Wasserbedarf**
- **Geringere Klimaabhängigkeit**
- **Keine Kontamination**
- **Kontinuierliche Produktion**
- **Geringwertige Flächen nutzbar**
- **keine Flächenkonkurrenz zu Lebensmitteln**

### 3 Zusammenfassung und Ausblick

Im Konzeptpapier wird die Ansicht formuliert, dass die Mikrosystemtechnik/Mikroverfahrenstechnik einen relevanten Beitrag für eine effiziente Bioenergieerzeugung leisten kann. Hierfür wird eine Reihe von möglichen Ansätzen aufgezeigt. Im Vergleich zur „klassischen“ Mikrosystemtechnik, bei der Mikrobauteile in großen Stückzahlen hergestellt werden, sind hier Mikrostrukturen in großen Flächen erforderlich. Dafür ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Fachleuten aus bisher kaum verknüpften Fachbereichen nötig. Das Papier ist Grundlage für den BMBF- Zukunftsworkshop "Mikrosystemtechnik für die effiziente Bioenergieerzeugung" im Oktober 2007 in Dresden.

Ziel des Workshops ist es auszuloten, welche Beiträge die Mikrosystemtechnik/Mikroverfahrenstechnik für eine effiziente Bioenergieerzeugung bieten kann. Dabei soll das aufgezeigte Konzept zur Diskussion gestellt und mit Fachleuten aus den verschiedenen Disziplinen Biologie, Bioverfahrenstechnik, Mikroverfahrenstechnik, Mikrofluidik, Optik und Energieversorgung diskutiert werden. Neben den Beiträgen der Referenten werden auch Wortbeiträge aus dem Teilnehmerkreis des Workshops aufgenommen. Darüber hinaus besteht jederzeit die Möglichkeit fachliche Beiträge auch direkt an den Projektträger zu richten.

Die Ergebnisse des Workshops können in die Vorbereitung einer entsprechenden Bekanntmachung im Rahmenprogramm „Mikrosysteme“ einfließen. Hierfür wäre ein entsprechender Forschungs- und Entwicklungsbedarf im strukturierten Dialog mit Fachleuten und Interessierten herauszuarbeiten und weitergehend zu konkretisieren. Wegen der hohen Interdisziplinarität des Themas ist anzunehmen, dass weitere relevante Fachkompetenzen in Forschungseinrichtungen und Unternehmen zu identifizieren und in den Dialog einzubeziehen sind.