

13.12.2004

# **Technologie-Monitoring**

## Weitere Bereiche - Vertiefungen

### *Zusammenfassung*

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

**Auftragnehmer:**

Arbeitsgemeinschaft:

Dr.EICHER+PAULI AG  
Kasernenstrasse 21  
4410 Liestal

**e c o n c e p t** AG  
Lavaterstrasse 66  
8002 Zürich

**Autoren:**

Reto Rigassi, Dr.EICHER+PAULI AG

Hanspeter Eicher, Dr.EICHER+PAULI AG

Pia Steiner, **e c o n c e p t** AG

Walter Ott, **e c o n c e p t** AG

**Begleitgruppe:**

Ruedi Meier, Programm energiewirtschaftliche Grundlagen

Lukas Gutzwiller, Bundesamt für Energie BFE

Andreas Gut, Bundesamt für Energie

Rudolf Jegge, Amt für Umwelt und Energie BS

Bruno Bebié, Industrielle Betriebe der Stadt Zürich

Tony Kaiser, Alstom Power Technology Centre

Eberhard Jochem, Eidgenössische Technische Hochschule ETH

**Impressum Titel**

Projektnummer: 2003.1039

Verfasser: Reto Rigassi

Telefon: 0619 274 271

E-Mail: reto.rigassi@eicher-pauli.ch

Mitautoren: Pia Steiner, Walter Ott, **e c o n c e p t**

Freigabe: Hanspeter Eicher

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Energiewirtschaftliche Grundlagen“ des Bundesamts für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.admin.ch/bfe

Vertrieb: BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern · www.bbl.admin.ch/bundespublikationen

Bestellnummer 805.xxx d / 00.00 / 0000

# Zusammenfassung/Résumé

## Aufgabenstellung

Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte zeigen, dass Veränderungen der Energieproduktions- und -verbrauchsstrukturen infolge der langen Lebensdauer der Investitionen nur langsam erfolgen, und dass die Entwicklung neuer Energietechnologien oft eine bis mehrere Dekaden benötigt. Umso grösser ist das Bedürfnis der Energiepolitik und der Energie-Forschungspolitik, frühzeitig über Informationen zur Richtung der zu erwartenden langfristigen Entwicklungstrends zu verfügen, um die strategische Politikvorbereitung und -ausrichtung sowie die Zuteilung von Energie-Forschungsmitteln möglichst nachhaltig vorzunehmen. Zu diesem Zweck ist es unerlässlich, Informationen zu den Entwicklungsperspektiven von Energietechnologien zu generieren, welche Hinweise auf den künftigen Verlauf der jeweiligen Technologiepfade geben. Die Wirtschaftlichkeit, und allfällige direkte Zusatznutzen (wie weniger CO<sub>2</sub>, Lärm, Abgase usw.) sind für den Markterfolg von neuen Technologien von zentraler Bedeutung. Die Grundlagen für die Beurteilung der technologischen Entwicklung in wirtschaftlicher Hinsicht sowie bezüglich weiterer für den Markterfolg relevanter Zusatznutzen oder Anwendungshemmnisse sind jedoch in der Regel nicht oder nur ungenügend vorhanden. Es ist beispielsweise weitgehend unklar, welche Technologien sich zu welchen Kosten im Rahmen von Energie 2000 und EnergieSchweiz entwickelt haben. Die künftigen Entwicklungspfade von Energieeffizienztechnologien sowie von erneuerbaren Energien sind noch viel weniger bekannt.

Im Rahmen der Studie 'Technologie-Monitoring I' [Eicher+Pauli, **eco**ncept, 2002] wurde ein erster Schritt für ein umfassendes und systematisches Technologie-Monitoring gemacht. Zur Beurteilung der technologischen Entwicklung in wirtschaftlicher Hinsicht wurde eine einheitliche Methodik erarbeitet, wobei für vier Technologiebereiche<sup>1</sup> die technologisch-wirtschaftliche Entwicklung in den letzten 10 Jahren analysiert und eine Abschätzung der bis ca. 2010 zu erwartenden Entwicklung dieser vier Technologiebereiche vorgenommen wurde.

Mit der hier erfolgenden Weiterführung des Technologie-Monitorings wird die Analyse der wirtschaftlichen Entwicklung auf weitere für die Zukunft der Energieversorgung relevante Technologien ausgedehnt. Die entscheidenden Einflussfaktoren für die wirtschaftliche Entwicklung der Technologien werden nach Möglichkeit analysiert. Dies betrifft insbesondere marktspezifische Einflüsse wie Markt- bzw. Anbieterstruktur, Konkurrenzsituation unter den Anbietern, Markttransparenz, etc. Angesichts des erforderlichen Betrachtungshorizontes bei energiepolitischen und energiewirtschaftlichen Entscheidungen wird der Zeithorizont der Technologieanalysen von 2010 auf 2020 bis 2030 ausgedehnt. Die Konsequenzen der Technologieentwicklung für die Energiepolitik werden eingehend untersucht.

Die Auswahl der im Technologie-Monitoring II untersuchten Technologien bzw. Technologiefelder basiert auf den Kriterien bisherige Entwicklung, Absatz- resp. Effizienzpotenzial und Handlungsspielraum für die Technologieförderung. Zusätzlich besteht die Vorgabe, nach Möglichkeit ein Technologiebeispiel aus dem Mobilitätsbereich und eines aus dem Bereich Industrie/Grossverbraucher zu bearbeiten. Untersucht werden: Drehzahlvariable elektrische Motoren, Lüftungssysteme für Niedrigenergie-Wohnbauten, Membrantechnologie und Kunststofftechnologie für den Fahrzeugleichtbau.

---

<sup>1</sup> motorische Wärmekraftkopplung, Brennstoffzellenheizgeräte; Luft-/Wasserwärmepumpen für Einfamilienhäuser und Hochleistungswärmedämmung

## Drehzahlvariable elektrische Motoren

Knapp die Hälfte des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs wird in elektrischen Motoren umgesetzt. Ein bedeutender Anteil davon wird für die Medienförderung (Lüftung, Pumpen, Kompressoren) beansprucht, für welche sich mit dem Einsatz drehzahlvariabler Motoren besonders grosse Energieeffizienzpotenziale ergeben, da die bezogene Leistung von der dritten Potenz der Fördermenge abhängig ist.

In einzelnen Anwendungsbereichen (z.B. bei Heizungspumpen) haben sich drehzahlvariable Antriebe als Standardlösung durchgesetzt. Jedoch wird das bedeutende, wirtschaftliche Effizienzsteigerungspotenzial bis heute nur sehr unvollständig genutzt.

Die wirtschaftliche Entwicklung von drehzahlvariablen Antrieben wird anhand eines Pumpenantriebs in einem Industriebetrieb mit einer Nenn-Antriebsleistung von 2.2, 11 und 55 kW analysiert. Als Referenzvariante wird der Betrieb des Motors mit konstanter Drehzahl angenommen, wobei der Volumenstrom mit einer mechanischen Drosselung (Drosselventil resp. -klappe) geregelt wird.

### Technologische Entwicklung

Drehzahlvariable Antriebe haben sich seit Beginn der 90er Jahre sehr dynamisch entwickelt. So haben sich die Preise für Frequenzumformer in etwa halbiert, was primär auf die wesentlich gesunkenen Kosten für die leistungselektronischen Bauteile (Halbleiter) zurückzuführen ist. Einen spürbaren Einfluss hatte zudem die Entwicklung von standardisierten Steuerungen auf der Basis von integrierten Schaltungen (Chips) sowie die fortschreitende Automatisierung der Produktion.

Angetrieben von der zunehmenden Verbreitung der Leistungselektronik mit immer neuen Anwendungsgebieten darf mit einer kontinuierlichen Weiterentwicklung gerechnet werden (u.a. wachsende Systemintegration und Leistungsdichte, erhöhte Temperaturbeständigkeit). Davon werden auch drehzahlvariable Antriebe profitieren. Unter der Voraussetzung, dass sich das Marktvolumen um den Faktor 1.5 bis 2.5 erhöht und Kostendegressionsfaktoren von 0.85 bis 0.9 erzielt werden, ergibt sich für die Wechselrichter bis 2030 eine Kostenreduktion von 25 bis 45 %.

Die Wirtschaftlichkeitsschwelle von drehzahlvariablen Antrieben hat sich mit den sinkenden Preisen für die Frequenzumformer zunehmend in Richtung von Antrieben mit geringerer Betriebsstundenzahl oder höherer Auslastung verschoben. Dies bedeutet, dass sich das wirtschaftliche Potenzial deutlich vergrössert hat.

### Bedeutung und Entwicklung der Transaktionskosten

Drehzahlvariable Antriebe haben sich seit Anfang 90er Jahre von einer innovativen Technologie, die aufgrund einiger 'Kinderkrankheiten' noch wenig verbreitet war, zu einer etablierten, zuverlässigen Standardlösung entwickelt. Informationen über Vor- und Nachteile sind heute leicht zugänglich. Für die Planung und Beschaffung existieren EDV-Werkzeuge. Der Aufwand für Ausbildung und Instruktion hat sich wesentlich reduziert. Damit sind auch die Transaktionskosten für die Endabnehmer resp. die in ihrem Auftrag arbeitenden Planer deutlich gesunken.

Es scheint heute offensichtlich, dass die Transaktionskosten in der Industrie aufgrund ungünstiger Rahmenbedingungen massiv überbewertet werden. In kleinen Betrieben fehlt oft das notwendige Know-how, um vorhandene Sparpotenziale zu erkennen. Hinzu kommt, dass externe Beratungsleistungen, welche notwendig wären, um die Effizienzpotenziale zu identifizieren, als zu teuer erachtet werden. In vielen grossen Betrieben sind die personellen Ressourcen für Planung und Betrieb der technischen Anlagen in den letzten Jahren teilweise massiv reduziert worden. Vielerorts werden diese Aufgaben an externe Firmen vergeben. Diese kommen mit dem Stromverbrauch resp. den Stromkosten, welche in der Regel nur über das ganze Unternehmen - d.h. ohne Zuordnung zu den einzelnen Betrieben - erfasst werden, nicht in Berührung.

Für die Zukunft darf dennoch angenommen werden, dass die Bedeutung der Transaktionskosten weiter sinkt. Möglich wird dies insbesondere dadurch, dass bei einer weiter zunehmenden Verbreitung der Leistungselektronik die Initialisierungskosten vor der ersten Beschaffung eines drehzahlvariablen Antriebes wesentlich an Bedeutung verlieren. Dies scheint insbesondere dann wahrscheinlich, wenn drehzahlvariable Antriebe in Zukunft noch verstärkt als Bestandteil einer weiter zunehmenden Automatisierung wahrgenommen werden und folglich weniger in Frage gestellt werden.

### **Entscheidende Hemmnisse und Erfolgsfaktoren**

Als entscheidende Hemmnisse stehen in der Industrie die folgenden Faktoren im Vordergrund:

- **Beurteilung der Wirtschaftlichkeit:**  
Als Kriterium für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von kleineren Effizienzmassnahmen wird in der Industrie weitgehend eine Rückzahldauer (Pay-Back) von maximal 2 bis 5 Jahren verwendet. Damit wird eher das Investitionsrisiko und weniger zwangsläufig die Rentabilität bewertet.
- **Überbewertung der Transaktionskosten:**  
In vielen industriellen Betrieben bestehen ungünstige Rahmenbedingungen, welche zu einer deutlichen Überbewertung der Transaktionskosten führen.

Eine Chance für drehzahlvariable Antriebe ergibt sich insbesondere dann, wenn sie in Zukunft noch verstärkt als Bestandteil einer weiter zunehmenden Automatisierung wahrgenommen werden. Dies dürfte für die Schweiz als Produktionsstandort mit hohem Automatisierungsgrad von spezieller Bedeutung sein. Neben den energetischen Effizienzgewinnen ergeben sich bei Pumpen und Ventilatoren auch betriebliche Vorteile durch die variable Drehzahl. Es darf davon ausgegangen werden, dass dieser Zusatznutzen weiter an Bedeutung gewinnt.

Jedoch müssen für eine erfolgreiche Entwicklung in der Industrie die wesentlichen organisatorischen Hemmnisse (Beurteilung der Wirtschaftlichkeit anhand von Rückzahldauer, betriebsinterne Strukturen und wenig ausgeprägtes Bewusstsein für energetische Aspekte) überwunden werden.

## **Lüftungssysteme für Niedrigenergie-Wohngebäude**

In Gebäuden mit überdurchschnittlicher Wärmedämmung liegen die Lüftungswärmeverluste in einer ähnlichen Grössenordnung wie die Transmissionsverluste. Ein kontrollierter Luftwechsel und eine Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft sind daher für eine weitere Reduktion des Energieverbrauches von entscheidender Bedeutung.

In Niedrigenergie-Wohngebäuden werden in der Schweiz Komfortlüftungen, welche Zu- und Abluft zentral erfassen und über eine Wärmerückgewinnung verfügen, am häufigsten eingesetzt. Gegenüber Abluftanlagen bieten sie (neben der Wärmerückgewinnung) einen höheren Komfort.

Im Bereich Neubau können heute bereits über 10 % der neu erstellten Fläche als Niedrigenergie-Wohnbauten mit Lüftungssystem bezeichnet werden. Im Sanierungsbereich sind die Anteile dagegen noch sehr gering - selbst wenn nur die Gesamtanierungen als Bezugsgrösse herangezogen werden.

Die Entwicklung von Lüftungssystemen in Niedrigenergie-Wohngebäuden wird anhand einer Komfortlüftung in einem Mehrfamilienhaus mit 8 Wohnungen untersucht (Sanierung und Neubau). Jede Wohnung verfügt über eine eigene Lüftungsanlage mit unabhängiger Zu- und Abluft sowie Wärmerückgewinnung.

## Technologische Entwicklung

Trotzdem, dass Komfortlüftungen nunmehr seit mehr als zehn Jahren in der Schweiz installiert werden, sind die Preise für die Lüftungsgeräte bis vor wenigen Jahren praktisch unverändert geblieben. Dabei hat sich eine entscheidende Rolle gespielt, dass der Druck auf die Preise bis vor kurzer Zeit gering geblieben ist. Referenzen und die Einschätzung der Produktequalität spielen eine wichtigere Rolle wie der Preis. Zudem wird der Bereich Komfortlüftung bei den meisten Anbietern noch weiter ausgebaut oder er befindet sich erst im Aufbau, was sowohl das Produktesortiment wie auch die Vertriebskanäle betrifft. Schliesslich wurde die Ausstattung der Geräte laufend verbessert.

Der einsetzende Kostendruck wird sich in Zukunft wohl verstärken und sich entsprechend auf die Verkaufspreise der Lüftungsgeräte auswirken. Durch eine verstärkt automatisierte Produktion, einen effizienteren Vertrieb (grösserer Umsatz pro Anbieter) und geringere Aufwendungen der Anbieter für Marketing, Akquisition/Ausbildung der Installateure besteht noch ein deutliches Kostenreduktionspotenzial. Unter der Annahme, dass sich die Ausstattung der Geräte nicht mehr wesentlich verändert, gehen wir davon aus, dass sich die Kosten für die Lüftungsgeräte bis 2020 durch Kosteneinsparungen bei Produktion und Vertrieb bis 2020 um 25 - 50 % reduzieren und sich danach kaum mehr weiter entwickeln.

Trotz montagefreundlicheren und leicht günstigeren Lüftungsverteilsystemen sind die Installationskosten bisher nur in sehr geringem Ausmasse gesunken. Als Gründe für diese Entwicklung kommen eine anfängliche Unterschätzung des Aufwandes und gestiegene Ansprüche der Bauherren in Frage.

Eine Reduktion der Installationskosten scheint vor allem durch verbilligte Komponenten bei gesteigertem Marktvolumen möglich. Der Arbeitsaufwand dürfte primär im Sanierungsbereich noch sinken, wenn die Hersteller wie für den Neubau vermehrt spezielle Luftverteilsysteme anbieten. Insgesamt gehen wir bei der künftigen Entwicklung der Installationskosten bis 2030 von einer Kostenreduktion von ca. 20 - 30 % aus.

Indem die früher üblichen Kreuzstrom-Wärmetauscher zunehmend durch Gegenstrom-Wärmetauscher verdrängt werden, hat sich der Temperatur-Änderungsgrad seit Anfang der neunziger Jahre durchschnittlich von 0.55 auf heute 0.80 verbessert. Bis 2010 dürften die Kreuzstromwärmetauscher praktisch ganz verschwunden sein und sich der Temperatur-Änderungsgrad auf durchschnittlich 0.85 erhöhen. Mit aufwändigeren Wärmetauschern ist längerfristig ein durchschnittlicher Temperatur-Änderungsgrad von 0.9 möglich.

## Bedeutung und Entwicklung des Zusatznutzens

Trotz der technologischen Entwicklung wird auch auf lange Sicht eine Wirtschaftlichkeit von Komfortlüftungen alleine aufgrund der vermiedenen Energiekosten nicht erreicht werden können - die Gesteungskosten des vermiedenen Wärmebedarfs bleiben langfristig weit über den variablen Kosten bei der Wärmeerzeugung (Kosten für Heizöl). Selbst wenn dies erreicht werden könnte, wäre damit allerdings der Marktdurchbruch aufgrund der Vermieter/Mieter-Problematik noch lange nicht sichergestellt.

Aus Sicht des Vermieters ist entscheidend, dass die Kosten für Investition und Unterhalt der Lüftungsanlage durch eine erhöhte Zahlungsbereitschaft der Mieter aufgewogen werden. Gemäss der Studie "Direkte und indirekte Zusatznutzen bei energieeffizienten Wohnbauten" untersucht [Econcept, Cepe, 2004] wird von den Mietern eine Lüfterneuerungsanlage aufgrund der besseren Raumluftqualität, der Rückkehr in frisch gelüftete Räume nach Abwesenheit, der Reduktion von Feuchtigkeitsproblemen, Aussenlärm und Schadstoffen sowie der Erhöhung der Sicherheit durch geschlossene Fenster positiv beurteilt. Eine Zahlungsbereitschaft besteht insbesondere bei Personen mit höherem Einkommen. Bei Neubauten ist diese deutlich grösser wie bei Altbauten, wo die Zahlungsbereitschaft für neue Fenster deutlich grösser ist wie diejenige für eine Komfortlüftung.

Im Neubau scheint die Zahlungsbereitschaft der Mieter deutlich höher zu sein, als die Aufwendungen für Investition und Unterhalt der Lüftungsanlage. Aus Sicht des Vermieters können also die Aufwendungen für eine Komfortlüftung über erhöhte Mietzinse gedeckt werden und die Attraktivität der Wohnungen steigt trotzdem. Dem Vermieter muss es aber gelingen, dem potenziellen Mieter die Vorteile der Komfortlüftung zu kommunizieren.

Im Sanierungsfall dagegen scheint die Zahlungsbereitschaft nicht in ausreichendem Masse vorhanden zu sein. Selbst wenn dies der Fall wäre, müsste berücksichtigt werden, dass der Einbau einer Komfortlüftung i.d.R. nur im Rahmen einer Gesamtanierung sinnvoll und somit mit bedeutenden Investitionen verbunden ist. Auch wenn diese Investitionen über eine spürbar erhöhte Grundmiete refinanziert werden können, muss der Vermieter mit einem Mieterwechsel rechnen. Immerhin darf dort, wo dies im Sinne einer wertvermehrenden Strategie in Kauf genommen wird, ein lohnendes Potenzial vermutet werden.

Mittelfristig kann angenommen werden, dass der Zusatznutzen durch die Etablierung von Qualitätsstandards gesteigert und durch den zunehmenden Bekanntheitsgrad besser wahrgenommen wird. In welchem Masse und in welchem Tempo durch die erwähnten Punkte die Zahlungsbereitschaft für eine Wohnung mit Komfortlüftung steigt, lässt sich allerdings kaum quantifizieren.

### **Entscheidende Hemmnisse und Erfolgsfaktoren**

Für den Markterfolg von Lüftungssystemen in Niedrigenergie-Wohnbauten wird auch auf längere Sicht der Zusatznutzen in Form der gesteigerten Luftqualität, etc. entscheidend bleiben. Die aus dem rein energetischen Blickwinkel berechneten Energiegestehungskosten der eingesparten Wärme lassen sich durch technische Fortschritte nicht auf das Mass der vermiedenen Wärmebereitstellungskosten reduzieren - auch dann nicht, wenn die Energiekosten massiv steigen oder die externen Kosten mitberücksichtigt werden.

Der Zusatznutzen resp. die daraus resultierende effektive Zahlungsbereitschaft für kontrollierte Lüftungssysteme muss deshalb bei der Marktbearbeitung im Zentrum stehen. Insbesondere ist der Bekanntheitsgrad von Komfortlüftungen bei Vermietern, Investoren und Architekten zu erhöhen. Dabei gilt es zu vermitteln, dass die Attraktivität einer Wohnung mit überdurchschnittlicher Wärmedämmung und einer Komfortlüftung steigt, da vor allem im Neubau und bei Sanierungen für gehobene Ansprüche eine enorme Zahlungsbereitschaft besteht. Bei den Mietern sind der Begriff Komfortlüftung als Synonym für eine ausgezeichnete Raumluftqualität zu etablieren und entsprechende Komfortansprüche zu entwickeln. Eine besondere Beachtung ist bei wachsendem Marktvolumen und zunehmendem Kostendruck der Qualitätssicherung zu schenken. Schlecht ausgeführte Anlagen, welche z.B. störende Geräusche erzeugen oder Gerüche übertragen, machen den Zusatznutzen zunichte.

## **Membrantechnik**

Die Membrantechnik ist kein Einzelverfahren sondern bildet ein breites Technologiefeld mit zahlreichen Einsatzmöglichkeiten und steht im Technologie-Monitoring stellvertretend für zahlreiche neue, zukunftsweisende Verfahren mit einem bedeutenden Energiesparpotenzial. Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie in unterschiedlichsten Bereichen mit grossem Wachstum (z.B. Biotechnologie) weisen auf ein grosses Markt- und Entwicklungspotenzial hin. Es werden die energierelevanten Anwendungen der Membrantechnik betrachtet, die herkömmliche energieintensive Verfahren ersetzen. Zu den häufigsten Verfahren gehören die druckgetriebenen Verfahren (Ultra-, Mikro- und Nanofiltration sowie Umkehrkosmose) und die Pervaporation und die Dampfpermeation. Die Membranen dienen zur Trennung von Stoffgemischen verschiedenster Art.

## Technologische Entwicklung der Verfahren

Seit über dreissig Jahren werden die druckgetriebenen Verfahren in der Wasseraufbereitung angewendet. Ab ca. Mitte der 80er-Jahre wurde die Pervaporation / Dampfpermeation in Pilotanlagen getestet. Die ersten kommerziellen Anlagen mit diesem Verfahren sind heute ca. 10 Jahre alt. Auch an den übrigen Membrantrennverfahren wird seit längerem geforscht. Die Verbreitung der kommerziellen Nutzung ist bei den einzelnen Verfahren sehr unterschiedlich. Die Übertragung der Membrantechnik von einer erprobten Anwendung auf einen neuen Zweck ist teilweise schwierig. Es können technische Probleme auftreten, wie beispielsweise kürzere Lebensdauer der Membranen bei Kontakt mit gewissen Substanzen. Standardisierte Anlagen existieren für Grossanwendungen in der Grundstoffchemie, der Petrochemie und der Meerwasserentsalzung. Dies sind alles Anwendungen, die in der Schweiz nicht vorkommen. In der Schweiz werden eher kleiner Membrananlagen in der Chemie-, Pharma- und Lebensmittelindustrie eingesetzt.

## Marktsituation und Preise in der Schweiz

Die Preisentwicklung der Einzelmembranen und der Module ist vor allem eine Frage der Absatzmenge der Membranen. Um die Kosten der Membran- und Modulproduktion zu senken, ist es notwendig, grosse Stückzahlen zu produzieren, was jedoch nur bei Membrantypen möglich ist, die in grossen Mengen abgesetzt werden können. Dementsprechend sind für Standardprodukte, wie beispielsweise Anlagen zur Meerwasserentsalzung oder Grossanlagen der Grundstoffchemie, die immer gleiche Stoffe verarbeiten, die Membranpreise in den letzten Jahren deutlich gesunken. Die heutigen Produktionszahlen, der in schweizerischen Anlagen verwendeten Membrantypen sind aufgrund der speziellen Auslegung und ihrem Einsatz in kleinen Anlagen noch immer relativ tief und die Preise dementsprechend hoch.

Der Hauptanteil der in der Schweiz weiterverarbeiteten Membranen wird aus Deutschland, Frankreich und den USA importiert. Der Exportmarkt für Membranen hat heute aus volkswirtschaftlicher Sicht in der Schweiz keine Bedeutung. Membranmodule und Anlagen werden in der Schweiz von in- und ausländischen Anbietern installiert. Der Exportmarkt der Anlagen konzentriert sich in erster Linie auf den Bereich der Wasseraufbereitung.

## Potenzial und zukünftige Entwicklung

Die energetische Gesamtrelevanz wird determiniert durch das spezifische Energiesparpotenzial der verschiedenen Anwendungen sowie die Einsatzmöglichkeiten der Membrantechnik in der Wirtschaft. Dieses Marktpotenzial wiederum ist abhängig von der technischen Weiterentwicklung der Verfahren und damit verbundenen neuen Anwendungsgebieten. Die unterschiedlichen Ausgangslagen der Einsatzgebiete, Referenzverfahren etc. verunmöglichen die Bestimmung eines allgemeingültigen Werts für das spezifische Energiesparpotenzial. Die im Bericht vorgestellten Beispiele zeigen jedoch auf, dass bedeutende spezifische Einsparungen möglich sind durch Ersatz thermischer Trennverfahren durch Membrantechnik.

Die Chancen der Technik liegen in den technischen und ökologischen Vorteilen. Verbesserte Ressourceneffizienz und höhere Produktqualität durch schonende Trennverfahren bewirken ein hohes Umweltschutzpotenzial, das - teilweise indirekt - auch energetische Einsparungen bewirkt. Ersetzt die Membrantechnik thermische Verfahren, so sind der geringere Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoss relevant. Die Leistungen der Membrananlagen hängen ab von der Art des Prozesses, der verarbeiteten Stoffe, der Auslegung der Gesamtanlage. Daher ist die Standardisierbarkeit der Verfahren begrenzt und eine quantifizierte Hochrechnung der spezifischen Einsparung auf ein Gesamtpotenzial der Industrie nicht möglich. In Zukunft dürfte der Einsatz der Membrantechnik in der Schweiz in all jenen Bereichen an Bedeutung gewinnen, die bereits heute teilweise diese Technologie anwenden: In der chemischen und pharmazeutischen Industrie, in der Lebensmittelindustrie sowie in der Aufbereitung und Reinigung von Abwasser.

Gemessen am Gesamtenergieverbrauch der Schweiz ist das Energiesparpotenzial der Membrantechnik im Inland begrenzt. Für den Einsatz von Membrantechnik geeignete Branchen sind Chemie/Pharma mit einem geschätzten jährlichen Sparpotenzial von ca. 1-2 PJ. Die Nahrungsmittelindustrie mit einem energetischen spezifischen Sparpotenzial bei den relevanten Prozessen von über 30 % ist ebenfalls ein relevantes Einsatzgebiet der Membrantechnik. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bieten die Textil-, Papier-, Automobil- und metallverarbeitenden Industrien.

### **Hemmnisse und Erfolgsfaktoren**

Folgende Aspekte begrenzen in der Schweiz die Bedeutung des Potenzials der Membrantechnik für Energieeinsparungen und eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen:

- In der Schweiz werden relativ kleine Mengen von Stoffgemischen verarbeitet. Dadurch ist die Energieeinsparung durch Membrantechnik im Vergleich zum gesamten Energieverbrauch der Industrie bescheiden.
- Spezialisierte Prozesse mit häufig wechselnden Gemischen stellen hohe Anforderungen an die Flexibilität der Anlagen. Membranen reagieren sensibel auf Veränderungen der Zusammensetzung der Stoffgemische.

Folgende Punkte sprechen für die Relevanz der Membrantechnik:

- Eine Chance bietet die Membrantechnik für Nischenprodukte mit Spezialanforderungen und anspruchsvollen Serviceleistungen, wo nicht der energetische Nutzen, sondern die verbesserte Produkt- und Prozessqualität sowie die Reduktion der Umweltbelastung im Vordergrund steht.
- Besonders gute Chancen hat die Membrantechnik bei innovativen Industrien, die Prozesse von Grund auf neu entwickeln. Ein Beispiel dafür ist die Biotechnologie, wo viele Neuentwicklungen keine energieintensiven Verfahren ersetzen. Deshalb wurde dieser Bereich trotz hohem Entwicklungs- und Anwendungspotenzial nicht in die Untersuchung einbezogen. Ein energierelevanter, ebenfalls nicht berücksichtigter, Einsatzbereich ist die Brennstoffzelle, die jedoch bereits im Technologie-Monitoring I untersucht wurde [Eicher et al. 2003].
- Weltweit gesehen leistet die Membrantechnik in grossindustriellen Prozessen der Grundstoff- und Petrochemie sowie in der Wasseraufbereitung und Meerwasserentsalzung einen bedeutenden Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Umweltbelastung.

Die vorliegende Untersuchung kommt zum Schluss, dass heute und in den nächsten Jahren aus energetischer Sicht die Membrantechnik für die Schweiz weniger relevant ist. Umso bedeutender ist diese Technologie jedoch aus wirtschaftlicher Perspektive. Mit rasch aufeinander folgenden Innovationen und intensiver Forschung wird die Membrantechnik in Zukunft in verschiedensten Bereichen, insbesondere in der Biotechnologie, stark an Bedeutung gewinnen. Die Entwicklung der Biotechnologie verläuft dynamisch und es ist heute schwer abzuschätzen, welche Lebensbereiche diese Technologie in fernerer Zukunft beeinflussen und durchdringen wird. Es ist denkbar, dass gänzlich neue Verfahren und Anwendungen direkt oder indirekt zur Energieeffizienz beitragen werden.

## Kunststoffleichtbau im Automobilbau

Die vorliegende Untersuchung zeigt die möglichen Gewichtseinsparungen im Automobilbau durch Einsatz faserverstärkter Kunststoffe auf. Es werden die existierenden Materialien und Verfahren vorgestellt, eine Übersicht über die bestehenden Anwendungen gegeben und Einschätzungen von Experten zur Weiterentwicklung des Technologiefelds präsentiert.

### Technologische Entwicklung

Die Entwicklung im Automobilbau führt in Europa seit Jahren zu stetig zunehmenden Fahrzeuggewichten. Ursache sind generell zunehmende mittlere Fahrzeuggrößen, enorme Verbesserungen bei der technischen Ausstattung der Fahrzeuge, stark gestiegene Komfortbedürfnisse, verbesserte Sicherheit und Schalldämmung.

Verschiedene Forschungs- und Entwicklungsprojekte befassten sich in den letzten Jahren mit Kunststoffleichtbau im Automobilbau. Bei umfassendem Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen und neuen Fahrzeugkonzepten kann das Fahrzeuggewicht um 30 – 50 % reduziert werden. Die materialtechnische Machbarkeit wurde mit dem Bau mehrerer Konzept-Fahrzeuge nachgewiesen. Noch weitgehend ungelöst und Gegenstand der aktuellen Forschung ist die Frage der wettbewerbsfähigen Grossserienproduktion von strukturtragenden Bauteilen.

In den letzten Jahren hat der Kunststoffanteil im Auto stetig zugenommen und liegt bei Neuwagen heute bei rund 16 %, wovon aber nur ein kleiner Teil faserverstärkte, gewichtsreduzierende Kunststoffe sind. Die heutigen Anwendungen von faserverstärkten Kunststoffen in der Grossserienproduktion von Klein- und Mittelklassewagen beschränken sich vorwiegend auf Kleinteile und nicht-strukturtragende Teile. In "Premium-Cars" der oberen Preisklasse, die in Kleinserien produziert werden, werden faserverstärkte Kunststoffe vermehrt und teilweise auch für strukturtragende Bauteile eingesetzt. Das Einsatzpotenzial wird heute jedoch nicht ausgeschöpft, da im Autodesign-Prozess das Gewicht nur ein Entscheidungskriterium unter vielen ist. In der Automobilindustrie wird grosses Gewicht gelegt auf einen "intelligenten Materialmix", der aus einer Kombination von Stahl, Aluminium, Kunststoffen, Magnesium und weiteren Materialien besteht.

### Markt- und Anbietersituation

Die Auto-Zulieferindustrie der Schweiz ist mit rund 20'000 Arbeitsplätzen und ca. fünf Milliarden Franken Umsatz wirtschaftlich bedeutend [www.ch-forschung.ch]. Die Zusammenarbeit zwischen den Autoproduzenten und den Zulieferern ist intensiv und der Austausch von Ideen und Know-how findet statt. Insgesamt sind die Marktstrukturen im Kunststoffleichtbau im Automobilbau intakt und sehr vielfältig, der Wettbewerb ist gross, wodurch der Entwicklungs- und Kostendruck zunehmend steigt.

### Potenzial und zukünftige Entwicklung

Die Veränderung des Kunststoffanteils im Auto in der Zukunft wird für zwei mögliche Entwicklungen dargestellt: Die Variante "konventionelle Fahrzeugkonzepte" geht davon aus, dass auch in Zukunft Autos mit einer Schalenkonstruktionsweise oder einem Stahlrahmen mit daran angebrachten Bauteilen produziert werden. Die Variante "neue Fahrzeugkonzepte" geht von der Einführung neuer Fahrzeugkonzepte aus, die eine grundlegend andere Produktionsweise beinhalten. Ein Beispiel dafür ist die Modulbauweise, welche die Zahl der Bauteile im Vergleich zu heute drastisch reduziert. Neue Fahrzeugkonzepte beschränken sich auch nicht nur auf die Gewichtsreduktion, sondern beinhalten neue Antriebsmodelle oder neue Fahrzeugformen.

Das heute bestehende technische Potenzial der faserverstärkten Kunststoffe bei Grossserien wird, auf Basis der serienmässig produzierbaren Bauteile, auf 18 % des Gesamtgewichts geschätzt, was im Vergleich zum heutigen Treibstoffverbrauch Einsparungen von rund 6 – 10 % bewirken würde. In Zukunft könnte der Gewichtsanteil der faserverstärkten Kunststoffe im Auto mit konventioneller Bauweise auf ca. 20 – 25 % erhöht werden und damit eine Verbrauchsreduktion von 9 – 14 % erzielt werden. Werden die Resultate der Forschungsprojekte als Grundlage genommen, so können mit dem Einsatz neuer Fahrzeugkonzepte Gewichtsreduktionen von bis zu 50 % erzielt werden, was den Treibstoffverbrauch um 25 – 40 % reduziert.

### **Hemmnisse und Erfolgsfaktoren**

Die Durchsetzung des Kunststoffleichtbaus hängt neben technischen und wirtschaftlichen Faktoren auch von der Entwicklung der Marktstrukturen ab, die gekennzeichnet ist durch die Verlagerung der Produktion ganzer Bauteile und Module von den Autoproduzenten zu den Zulieferern. Der Fahrzeugmarkt ist hoch kompetitiv. Wenn die Autoproduzenten sich einen Marktvorteil erhoffen durch das Angebot von energieeffizienteren Fahrzeugen, so werden sie diese Chance ergreifen. In der Automobilindustrie haben Verfahren und Materialien nur eine Chance, in Grossserien eingesetzt zu werden, wenn sie dem intensiven Kostenwettbewerb standhalten. Folgende Aspekte wirken hemmend auf den Einsatz faserverstärkter Kunststoffe:

- Die Umstellung von Produktionsprozessen ist teuer, da die Investitionen für Produktionsstrassen sehr hoch und die Amortisationszeiten der Anlagen lang sind. Die Akzeptanz der Autoindustrie für neue Produktionsweisen ist stark abhängig von den Möglichkeiten, diese in die bestehenden Produktionsprozesse zu integrieren.
- Es existieren technische Probleme, die gelöst werden müssen, um eine Serienproduktion für den Massenmarkt zu generieren. Die Verfahren für strukturtragende Elemente sind zu wenig automatisiert und weisen zu lange Taktzeiten oder lange Vor- und Nachbereitungszeiten auf.
- Die Beherrschung der Produktionsprozesse ist heute teilweise ungenügend und die Systemintegration muss verbessert werden. Dadurch können Ausschüsse und Produktionsabfälle minimiert werden.
- Soll der Kunststoffanteil deutlich erhöht werden, so müssen wirtschaftliche und effiziente Recyclingprozesse entwickelt werden. Andernfalls kann die geforderte Recyclingquote der EU von 85 % resp. 95 % ab 2015 nicht eingehalten werden.

Zahlreiche Aspekte sprechen jedoch für den Einsatz faserverstärkte Kunststoffe im Automobilleichtbau. Neben der deutlichen Gewichtsreduktion gehören dazu folgende Punkte:

- Die Kunststoffe verfügen über grosse Designfreiheit, was die Herstellung komplexer Teile mit engen Radien ermöglicht.
- Es können funktionsintegrierte Module produziert und mehrere Arbeitsschritte im gleichen Arbeitsgang erledigt werden. Dadurch verkürzt sich die Produktionszeit.
- Die Modulbauweise ermöglicht eine kostengünstige Flexibilisierung des Produktionsprozesses. Dies kommt dem heutigen Trend zur Individualisierung der Automodelle entgegen.
- Der Lackierprozess ist ein zentraler und kostenintensiver Vorgang im Produktionsprozess. Die Kunststoffindustrie kann durch neue Lackiersysteme zu Kosteneinsparungen beitragen.
- Crashtests haben gezeigt, dass faserverstärkte Kunststoffe den heutigen Sicherheitsanforderungen entsprechen.

Die vorliegende Untersuchung zeigt deutlich, dass das Potenzial des Kunststoffleichtbaus im Automobilbau sehr gross ist und bedeutende Treibstoffeinsparungen erzielt werden können. Die Entwicklung des faserverstärkten Kunststoffeinsatzes in den letzten Jahren verlief positiv. Es sind noch einige technische Schwierigkeiten zu bewältigen, um die Serienproduktion für den Massenmarkt im grossen Stil zu ermöglichen. Die Forschung zur Verbesserung der Verfahren und Entwicklung neuer Anwendungen läuft jedoch intensiv und sowohl die Kunststoffindustrie als auch die Autoproduzenten wenden grosse Summen dafür auf. Im Zentrum der Aktivitäten steht die Perfektionierung der Verfahren für die wettbewerbsfähige Serienproduktion im Massenmarkt. Wenn dies gelingt, kann sich der Leichtbau auf breiter Ebene durchsetzen.

## Konsequenzen für die Energiepolitik

### Allgemeine Erkenntnisse und Konsequenzen für die Energiepolitik

Die Erweiterung der untersuchten Aspekte im Technologie-Monitoring II trägt der Tatsache Rechnung, dass für den breiten Technologieeinsatz neben den technisch-wirtschaftlichen Charakteristika einer Technologie oft die Vermarktung bis zum Endabnehmer eine zentrale Rolle spielt. Bei einer erweiterten Perspektive des Monitorings verwischen sich die Grenzen zwischen Wirtschaftspolitik, Innovations-/Technologiepolitik und Energiepolitik, und es stellen sich Zuordnungs- bzw. Abgrenzungsfragen. Aufgabe des Technologie-Monitorings ist es, in den erwähnten Fällen, die innovationstreibenden oder -hemmenden Faktoren zu identifizieren und zu verfolgen sowie den Bezug zu den energiepolitischen Zielen und Wirkungen herzustellen. Diese Informationen dienen der Industrie-, der Forschungs- wie auch der Energiepolitik.

Das Technologie-Monitoring generiert Entscheidungsgrundlagen für die Energie- und die Energieforschungspolitik, liefert Ansatzpunkte für energiepolitische Massnahmen und schafft Zusatznutzen für die Innovations- und Technologiepolitik. Technologie-Monitoring kann das Controlling des Einsatzes von öffentlichen Forschungsmitteln in diesen Bereichen unterstützen, nach einer Klärung konkurrierender Entwicklungspfade das Risiko einer Fehlallokation von Forschungsmitteln verringern und die Entscheidungen zwischen konkurrierenden Projekten erleichtern. Besonders geeignet ist das Technologie-Monitoring für einzelne Anwendungen einer Technologie, (zum Beispiel Wärmepumpen in Einfamilienhäusern oder drehzahlvariable Antriebe für Motoren) welche die Phase der Basisinnovation durchlaufen haben und im Markt angeboten werden. Bei diesen Technologien kann mit Hilfe von Lernkurven, die auf der vergangenen Entwicklung beruhen, eine Prognose für die wirtschaftliche Weiterentwicklung sowie eine Abschätzung der sich ergebenden Markteintrittskosten gemacht werden (Differenz zwischen der jährlichen Entwicklung der effektiven Kosten der Technologie und den Kosten welche der Markt zu zahlen bereit ist (Kostenniveau der konventionellen Alternativen), multipliziert mit der jährlichen Absatzmenge gemäss Lernkurve).

Da die Lernkurven auch Aussagen über die notwendigen Stückzahlen bis zur Erreichung der Marktkosten beinhalten, lässt sich auch abschätzen, ob eine Technologie in einer bestimmten Anwendung allein mit Hilfe des Schweizer Marktes marktwirtschaftlich gemacht werden kann oder ob nur in einem grösseren Umfeld solche Stückzahlen überhaupt erreichbar sind. Daraus ergeben sich wichtige Hinweise für die zukünftige Förderpolitik. Gefördert werden sollten nur Technologien, für die eine klare, tragfähige Strategie zur Überwindung der Markteintrittskosten vorhanden und die wesentlichen Marktpartner zu deren Umsetzung ihren Teil zu leisten bereit sind.

Wir schlagen vor, das Technologie-Monitoring als periodisch wahrgenommene Aufgabe zu etablieren. Dabei sollte sich das Monitoring auf Technologien mit klar definierten Anwendungen beschränken, welche gleichzeitig für die Energiepolitik von hoher Bedeutung sind, weil sie grosse finanzielle Mittel binden oder binden sollen.

Das so verstandene Technologie-Monitoring sollte folgende Teile umfassen:

- Erheben und Mitpublizieren der wesentlichen wirtschaftlichen Parameter der bereits untersuchten Technologien, mit bescheidenem Zusatzaufwand, jährlich im Rahmen der Energiestatistik (erneuerbare Energien, WKK) .
- Noch nicht untersuchte für die schweizerische Energiepolitik aber bedeutungsvolle Technologien einem Monitoring unterziehen.
- Alle 5 Jahre die Entwicklung der wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit der bisher untersuchten Technologien aufdatieren und die Veränderungen im Bereich der Hemmnisse und Erfolgsfaktoren festhalten.

Mit Ausnahme der Membrantechnik und der Leichtbautechnik empfehlen wir, alle untersuchten Technologien vom Technologie-Monitoring I und II weiterzuverfolgen.

### Technologieübergreifende Hemmnisse und Erfolgsfaktoren

Eine wichtige Aufgabe des Technologie-Monitorings besteht darin, Hemmnisse zu identifizieren, ihre Entwicklung zu verfolgen und damit Ansatzpunkte für die Energie- und Forschungspolitik aufzuzeigen. Die Untersuchung zeigte, dass folgende Faktoren für mehrere Technologien die Durchsetzung am Markt erschweren:

- **Sunk cost-Problematik:** Grosse Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionsinfrastrukturen mit hohen Investitionskosten, die amortisiert werden müssen, erschweren die Anpassung von Produkten, Produktionsprozessen und Betriebsstrukturen.
- **Transaktionskosten:** Informationsbeschaffung, Evaluation, Planung sowie Installations- und Einführungskosten können gerade bei neuen, innovativen Technologien einen bedeutenden Anteil der Gesamtkosten ausmachen. Transaktionskosten mindern die Vorteile innovativer Lösungen und wirken sich negativ auf ihre Wirtschaftlichkeit aus.
- **Know-how-Defizite und geringe Markttransparenz:** Verstärken die Neigung zu herkömmlichen Technologien, Produktionsverfahren und Produkten. Forschungs- und Interessennetzwerke können wesentlich zur Know-how-Diffusion beitragen.
- **Ungünstige Marktstrukturen:** Zu viele Klein- oder Nischenanbieter oder zu wenig Wettbewerb können die Realisierung von Skalen- und Verbundeffekten verhindern und dadurch die Technologieentwicklung verzögern.

### Erkenntnisse der Untersuchung für die einzelnen Technologien

Zu den einzelnen Technologien des Technologie-Monitoring II ergeben sich folgende Konsequenzen für die Energiepolitik:

- **Drehzahlvariable Elektromotoren:** Drehzahlvariable Antriebe sind zwar in vielen Anwendungsbereichen in der Industrie wirtschaftlich, die Umsetzung scheitert jedoch oft an organisatorischen Hemmnissen. U.a. führen die knappen Personalressourcen zu einer Überbewertung der Transaktionskosten. Diese organisatorischen Hemmnisse müssen auf entsprechender Ebene angegangen werden. Die Zielvereinbarungen im Rahmen des CO<sub>2</sub>-Gesetzes zeigen hier einen gangbaren Weg. Leider muss in Bezug auf drehzahlvariable Antriebe festgestellt werden, dass die Elektrizität in den CO<sub>2</sub>-Vereinbarungen nicht integriert ist. Ohne entsprechende gesetzliche Grundlagen erscheinen signifikante Verbesserungen der Energieeffizienz bei elektrischen Antrieben nur schwer realisierbar. Folgende Aktivitäten können die Verbreitung der Technologie unterstützen:
  - Die bestehenden Aktivitäten im Forschungsprogramm Elektrizität, welche auf eine Reduktion der Transaktionskosten abzielen, können die Umsetzung von Vereinbarungen mit Industrieunternehmen wesentlich verbessern.

- Zu prüfen ist, ob für den Bau von Maschinen und Anlagen Richtlinien und eventuell ein Gütesiegel betreffend Energieeffizienz geschaffen und etabliert werden können. Diese sollten nicht nur drehzahlvariable Antriebe, sondern auch weitere Massnahmen wie z.B. den Einsatz von hocheffiziente Elektromotoren umfassen.
- Werden drehzahlvariable Antriebe im Rahmen von Informations-, Ausbildungs- oder Beratungsangeboten gefördert, sind diese als Bestandteil einer weiter zunehmenden Automatisierung darzustellen. Der Zusatznutzen (höhere betriebliche Flexibilität, evtl. längere Wartungsintervalle) ist adäquat zu kommunizieren.
- **Lüftungssysteme für Niedrigenergie-Gebäude:** Aufgrund des Verlaufs der quantitativen Entwicklung und der Aussagen von Branchenvertretern erscheint es offensichtlich, dass die Verbreitung der Komfortlüftung in der Schweiz zu wesentlichen Teilen auf das Label Minergie zurückzuführen ist. Das Beispiel Komfortlüftung zeigt eindrücklich, wie die Markteinführung einer neuen Technologie im Rahmen eines Standards, der primär über die gesteigerte (Wohn-) Qualität definiert wird, gelingen kann. Die Energieeffizienz kommt im Fahrwasser des Zusatznutzens (gesteigerter Komfort) deutlich schneller voran, als dies alleine möglich gewesen wäre. Werden die Zukunftschancen von neuen Technologien beurteilt, kann eine einseitige energietechnische Beurteilung die Resultate nicht korrekt wiedergeben. Im Komfortlüftungsbereich fehlen bisher koordinierte Branchenaktivitäten weitgehend. Für die öffentliche Hand bietet sich die Möglichkeit, durch das Initialisieren einer gemeinsamen Plattform die Aktivitäten der MarktteilnehmerInnen wesentlich zu verstärken. Im Rahmen des Energie-Clusters ist dies - zumindest was technische Fragestellungen betrifft - bereits gelungen. In Zukunft können die Chancen der Komfortlüftungen durch gemeinsames Marketing und Qualitätssicherung wesentlich verbessert werden.
- **Membrantechnik:** Aufgrund der beschränkten energetischen Relevanz für die Schweiz und dem bis heute kleinen Inland- und Exportmarkt macht ein zukünftiges Monitoring sowie eine Förderung und Unterstützung der Weiterentwicklung dieses Technologiefelds durch die öffentliche Hand aus energiepolitischer Sicht wenig Sinn.
- **Leichtbau im Automobilbau:** Das Potenzial dieses Technologiefelds zur Gewichtsreduktion von Fahrzeugen und damit zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist sehr gross. Die umfassende Durchsetzung der Technologie in der Grossserienproduktion, eine zentrale Forderung zur Realisierung des bedeutenden Energiesparpotenzials, scheint aber heute noch nicht gesichert. Die Schweiz kann einen industriepolitisch bedeutenden Beitrag über die hier angesiedelten Zulieferfirmen erbringen. Die energiepolitische Motivation spielt hier nur eine Nebenrolle. Es handelt sich in diesem Sinne wohl eher um eine Technologieförderung und ein Monitoring aus energiepolitischen Überlegungen ist kaum sinnvoll.

Die öffentliche Hand könnte vor allem die Durchsetzung der Technologie mit folgenden Aktivitäten fördern:

- Unterstützung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten unter massgeblicher Beteiligung der schweizerischen Zulieferindustrie, mit Fokus auf den wettbewerbsfähigen, automatisierten Einsatz faserverstärkter Kunststoffe in Grossserien und in Grossserienmodulen.
- Die Energieetikette für Personenwagen bezieht das Fahrzeuggewicht in die Formel zur Berechnung der Effizienz eines Fahrzeugs ein. Daher wird ein gewichtsreduziertes Automodell, mit reduziertem Treibstoffverbrauch nicht als effizienter beurteilt. Es sollte nach Möglichkeiten gesucht werden, wie die Etikette Gewichtsreduktionen honorieren kann.
- Der Bund kann seine Vorbildfunktion wahrnehmen, indem er bei der Beschaffung bundeseigener Fahrzeuge darauf achtet, dass möglichst leichte und energieeffiziente Fahrzeuge ausgewählt werden.
- Mit Informations- und Kommunikationsaktivitäten kann der Vorteil eines geringeren Gewichts den Konsumentinnen und Konsumenten bekannt gemacht werden.