

Jürgens, Ulrich; Meißner, Heinz-Rudolf; Bochum, Ulrich

**Working Paper**

## Innovation und Beschäftigung im Fahrzeugbau: Chancen und Risiken

WZB Discussion Paper, No. FS II 02-202

**Provided in Cooperation with:**

WZB Berlin Social Science Center

*Suggested Citation:* Jürgens, Ulrich; Meißner, Heinz-Rudolf; Bochum, Ulrich (2002) : Innovation und Beschäftigung im Fahrzeugbau: Chancen und Risiken, WZB Discussion Paper, No. FS II 02-202, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), Berlin

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/50764>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

Veröffentlichungsreihe der Abteilung **Regulierung von Arbeit**  
des Forschungsschwerpunkts Technik-Arbeit-Umwelt des  
Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung

FS II 02-202

**Innovation und Beschäftigung im Fahrzeugbau**  
**Chancen und Risiken**

Ulrich Jürgens  
Heinz-Rudolf Meißner\*  
Ulrich Bochum\*

\*FAST e.V.

Berlin, im Februar 2002

Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH (WZB)  
Reichpietschufer 50, 10785 Berlin  
Telefon: (030) 254 91-0

## Zusammenfassung

Seit den neunziger Jahren kam es aufgrund technologischer, organisatorischer und umweltbedingter Entwicklungen im Fahrzeugbau zu einer außergewöhnlichen Kumulierung von Reaktionen und Innovationsanstößen, die seit Mitte der neunziger Jahre Strukturen und Prozesse dieser bedeutenden Industrie grundlegend verändern. Gegenüber bisherigen evolutiven Entwicklungslinien ist diese Phase eher von Strukturbrüchen und Diskontinuitäten gekennzeichnet.

Diese Umbruchphase vollzieht sich am Anfang des neuen Jahrtausends mit weiterhin hoher Veränderungsdynamik. Innovatorische Konzepte, die nahezu alle Bereiche des Automobils betreffen, bilden eine wesentliche Triebkraft dieser Entwicklung. Dies betrifft die Einführung neuer Technologien (Elektronik, neue Werkstoffe, neue Antriebssysteme) ebenso wie Produktkonzepte (Module/Plattformen) und Produktionskonzepte (Fraktalisierung, Teamkonzepte).

Die vorliegende explorative Studie beschreibt quantitative und qualitative Beschäftigungseffekte von Innovationsprozessen im deutschen Fahrzeugbau exemplarisch an vier Innovationsfeldern: neue Werkstoffe, Altautorecycling, „drive by wire“ und Brennstoffzelle. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand folgende Fragestellungen:

- Die Identifizierung der von dem Innovationsprozess betroffenen Komponenten und Prozesse, Voraussetzungs- und Folgeinnovationen und die durch sie substituierten Produkte und Prozesse;
- die Abschätzung von Personaleffekten im Hinblick auf Anzahl und Qualifikation sowie nach Unternehmensbereich und Stellung innerhalb der Prozesskette (innerhalb und außerhalb der statistischen Abgrenzung „Automobilindustrie“);
- der Stand der Umsetzung und der Diffusion sowie der Dynamik des „phase in – phase out“-Prozesses.

## Abstract

In recent years the intensity of innovation in the automotive industry has grown enormously. A third of all spending on research and development in manufacturing is to the account of the motor vehicle manufacturers. The electronisation of the vehicle and new drive systems (such as fuels cells) which are currently being developed in the research laboratories will be implemented in the course of this decade.

In an explorative study, the quantitative and qualitative impacts of innovation processes on employment in German motor vehicle manufacturing are described, taking the examples of four innovation fields: new materials, automotive recycling, „drive by wire“, and fuel cells. The study focuses on the following issues:

- Identification of the components and processes affected by the innovation process, prerequisite and consequent innovations, and the products and processes they replace;
- Assessment of personnel impacts with regard to numbers and qualifications, and by functional area and position within the process chain (within and outside the statistical boundaries of the „car industry“);
- The status of implementation and the diffusion and dynamics of the „phase-in – phase-out“ process.

# Inhalts- und Abbildungsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangspunkt und Ziele der Untersuchung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoriefragen und Definitionen</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Neue Werkstoffe – Leichtbau</b> .....	<b>5</b>
3.1	Auslöser, Triebkräfte, Hemmnisse .....	5
3.2	Fallstudie Beschäftigungseffekte im Karosserieleichtbau – die Aluminium-Karosserie des A2 .....	6
3.3	Diffusion/Zeitperspektiven .....	8
<b>4</b>	<b>Altautorecycling</b> .....	<b>10</b>
4.1	Ökologisch induzierte Innovation durch Regulierung .....	10
4.2	Neue Struktur nach in Kraft treten der Altautoverordnung .....	12
4.3	Offene Entwicklung .....	14
<b>5</b>	<b>Elektronisierung im Fahrzeugbau am Beispiel drive-by-wire</b> .....	<b>16</b>
5.1	Der Trend zur Elektronik - Sicherheits- und Komfortaspekte .....	16
5.2	Kurz- und längerfristige Entwicklungsperspektiven .....	18
5.3	Markteinführung und Produktentwicklungsperspektiven .....	19
<b>6</b>	<b>Brennstoffzelle</b> .....	<b>21</b>
6.1	Auslöser, Triebkräfte, Hemmnisse .....	21
6.2	Fallstudie Beschäftigungseffekte bei neuen Antriebstechniken – Brennstoffzelle .....	23
6.3	Diffusion und Zeitperspektiven .....	26
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>26</b>
8	Literaturverzeichnis .....	29
Abbildung 1:	Untersuchungsdesign .....	2
Abbildung 2:	Innovation im Fahrzeugbau 1998 – ZEW Branchenreport .....	4
Abbildung 3:	Materialmix - Gewichtsanteile unterschiedliche Materialien im A2 .....	7
Abbildung 4:	Durchschnittlicher Aluminium-Einsatz im PKW (kg) in Europa .....	9
Abbildung 5:	Altautorecycling - Prozesskette und zu erwartende Beschäftigungseffekte .....	14
Abbildung 6:	EHB und EMB - die weitere Entwicklung der Bremssysteme .....	17
Abbildung 7:	Drive-by-wire – Phasenmodell .....	20
Abbildung 8:	Prinzip eines Brennstoffzellensystems mit Gasreinigungsprozess .....	22
Abbildung 9:	Brennstoffzelle - zu erwartende Beschäftigungseffekte in der Prozesskette .....	25

# 1 Ausgangspunkt und Ziele der Untersuchung

Seit den neunziger Jahren kam es aufgrund technologischer, organisatorischer und umweltbedingter Entwicklungen im Fahrzeugbau zu einer außergewöhnlichen Kumulierung von Reaktionen und Innovationsanstößen, die seit Mitte der neunziger Jahre Strukturen und Prozesse dieser bedeutenden Industrie grundlegend verändern. Gegenüber bisherigen evolutiv-schen Entwicklungslinien ist diese Phase eher von Strukturbrüchen und Diskontinuitäten gekennzeichnet.

Diese Umbruchphase vollzieht sich am Anfang des neuen Jahrtausends mit weiterhin hoher Veränderungsdynamik. Innovatorische Konzepte, die nahezu alle Bereiche des Automobils betreffen, bilden eine wesentliche Triebkraft dieser Entwicklung. Dies betrifft die Einführung neuer Technologien (Elektronik, neue Werkstoffe, neue Antriebssysteme) ebenso wie Produktkonzepte (Module/Plattformen) und Produktionskonzepte (Fraktalisierung, Teamkonzepte).

Insgesamt sind die begonnenen und heute erkennbaren Entwicklungen von einem hohen Grad an Ungewissheit und Unsicherheit hinsichtlich Ausprägung, Reichweite und Auswirkungen der zu erwartenden Veränderungen auf das „System Fahrzeugbau“ und insbesondere auf die Beschäftigung in diesem System gekennzeichnet. Deutlich ist, dass Entwicklungslinien und Trendmuster der Vergangenheit für die gegenwärtige Phase nicht einfach fortgeschrieben werden können.

Ziel der vorliegenden explorativen Studie ist es, exemplarisch Chancen und Risiken dieser vielfältigen und sich dynamisch entwickelnden Innovationsprozesse im bundesdeutschen Fahrzeugbau (PKW) im Hinblick auf die quantitativen und qualitativen Beschäftigungseffekte empirisch zu erfassen. In einer unter pragmatischen Gesichtspunkten vorgenommenen Auswahl konzentrieren wir uns dabei auf vier Innovationsfelder:

- neue Werkstoffe,
- Altautorecycling,
- „drive-by-wire“,
- Brennstoffzelle.

Empirisch werden alte und neue Technologiekonfigurationen, Voraussetzungen und Wirkungsketten erfasst und im Hinblick auf die quantitativen und qualitativen Beschäftigungswirkungen abgeschätzt.

Basis für die Untersuchung sind vor allem Expertengespräche bei OEMs, Zulieferern, Servicebetrieben, Dienstleistungsunternehmen sowie in Hochschulinstituten.<sup>1</sup> Hintergrund sind Literaturlauswertungen, die Sichtung von Unternehmensinformationen sowie einschlägiger Fachzeitschriften.

## Zum Untersuchungsdesign

Grundlegend für unser Innovationsverständnis ist die Annahme, dass Innovationsprozesse ganzheitlich betrachtet werden sollten:

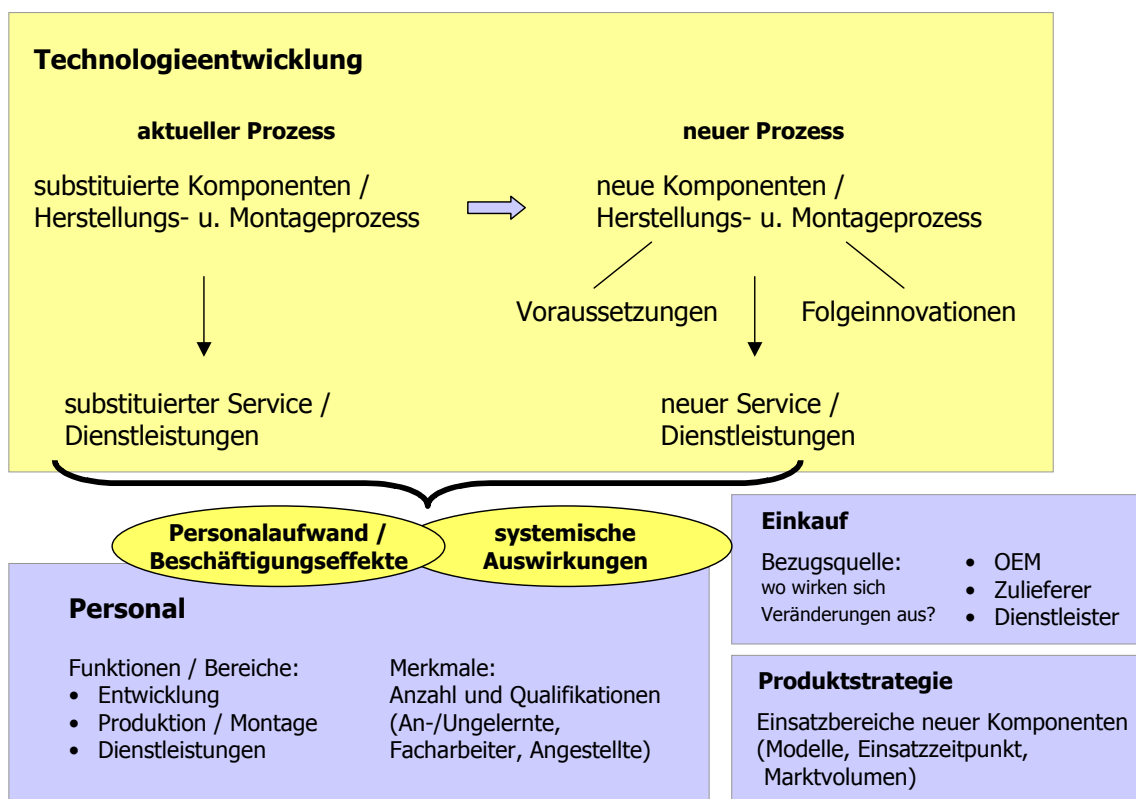
---

1 An dieser Stelle möchten wir uns bei unseren Interviewpartner herzlich bedanken, die unsere Fragen mit großer Offenheit beantwortet und die Komplexe mit uns diskutiert haben.

- Im Fokus stehen dabei nicht nur die technischen Produkt- und Prozessinnovationen, sondern auch die arbeits- und sozialorganisatorischen Aspekte einer Umsetzung und Realisierung von Innovationen und die damit verbundenen quantitativen und qualitativen Beschäftigungseffekte.
- Die Veränderungsdynamik bezieht sich einerseits auf die Prozesskette und andererseits auf unterschiedliche Akteursgruppen, wie die Zulieferer, den Handel, externe Dienstleister bis hin zu Reparatur/Service und Entsorgung.
- Innovationen haben zu ihrer Umsetzung im Hinblick auf ihre jeweiligen Komponenten häufig bestimmte Voraussetzungen (z.B. 42-Volt-Netz für break-by-wire) und zumeist auch Folgeinnovationen (z.B. die Integration von Assistenzfunktionen der Telematik bei drive-by-wire), die mit berücksichtigt werden müssen.

Hinsichtlich der Beschäftigungswirkungen ist sowohl mit Substitutionsprozessen als auch mit neuen Beschäftigungsmöglichkeiten zu rechnen. Insofern ergeben sich durch die Innovationen Möglichkeitsräume, deren Nutzungen von Entscheidungen in den Unternehmen, der weiteren technologischen Entwicklung als auch vom regulativen Umfeld abhängig sind.

Abbildung 1: Untersuchungsdesign



WZB/FAST e.V. (April 2001)

### Zentrale Fragestellungen der Untersuchung

- Die Identifizierung der von dem Innovationsprozess betroffenen Komponenten und Prozesse, Voraussetzungs- und Folgeinnovationen und die durch sie substituierten Produkte und Prozesse;

- die Abschätzung von Personaleffekten im Hinblick auf Anzahl und Qualifikation sowie nach Unternehmensbereich und Stellung innerhalb der Prozesskette (innerhalb und außerhalb der statistischen Abgrenzung „Automobilindustrie“);
- der Stand der Umsetzung und der Diffusion sowie der Dynamik des „phase in – phase out“-Prozesses.

## 2 Theoriefragen und Definitionen

„Die Innovationsforschung liefert weder einen geschlossenen Ansatz noch eine allgemein akzeptierte Begriffsdefinition von Innovation“ (Lehner u.a. 1998; 9). Als eine zunehmend anerkannt Referenz setzt sich heute die im „Frascati-Manual“ der OECD niedergelegte Definition durch. Im Grünbuch der Innovation heißt es: Bei Innovationen „handelt es sich um die Umsetzung einer Idee in neue oder verbesserte käufliche Produkte oder Dienstleistungen, in operationelle Verfahren in Industrie oder Handel oder in eine neue Form sozialer Dienstleistung.“ (Europäische Kommission 1995; 5)

Der Begriff der Innovation bleibt doppeldeutig. Die neuere OECD-Definition (festgelegt im Oslo-Manual) stellt auf den Innovationsprozess ab (wie wird die Innovation in einzelnen Etappen hervorgebracht?), wobei die inner- und überbetriebliche Innovationsorganisation<sup>2</sup> bedeutsam wird. Andere Definitionen orientieren sich am Resultat und erfassen mit dem Begriff der „Innovation“ die erfolgreiche Durchsetzung neuer oder verbesserter Produkte und Dienstleistungen auf dem Markt<sup>3</sup>. Bei diesem Ansatz wird zwischen radikalen Innovationen (z.B. Einführung der CD) und inkrementalen (schrittweisen) Innovationen (z.B. Verbesserung der Mikroprozessoren-Kapazität von 16 auf 32 Bit) unterschieden.<sup>4</sup>

Weitergehende Unterscheidungen trennen analytisch zwischen der *Prozessinnovation* (sie ermöglicht Produktivitätsgewinne durch Verbesserungen von Produktionsverfahren und Produktionsorganisation) und *Produktinnovation* (verbesserte oder neue Produkte). Produktinnovationen wird in aller Regel ein eher positiver Beschäftigungseffekt zugeschrieben, wobei jedoch festgestellt wird, dass sich in der Praxis Prozess- und Produktinnovation häufig überlagern und die jeweiligen Beschäftigungseffekte nicht sauber voneinander getrennt werden können.

---

2 Schlüter u.a. (1998; 102 ff.) stellen grafisch-schematisierend den Zusammenhang von Innovationsprozess (Entstehungsphase) und Diffusionsprozess (Wachstums-, Reife- und Altersphase eines Produktes) dar. Im Lebenszyklus eines Produktes werden Arbeitsplätze vorrangig in der Wachstumsphase (Aufbau von Produktions- und Betriebspersonal) geschaffen. In der Reifephase bewirken Produktivitätssteigerungen einen Personalabbau, der in der Altersphase mit der Verdrängung alter Produkte massiv wird. Die Überlagerung von Produktlebenszyklen wird als kontinuierlicher Innovationsprozess interpretiert, der zu einer *Verlagerung* von Arbeitsplätzen führt. Eine Schaffung von neuen Arbeitsplätzen wird nur dort gesehen, wo neue Technologien das Entstehen neuer Märkte ermöglichen.

3 Schumpeters Phasen von Invention, Innovation und Distribution bilden dabei eine Referenz (Meyer-Krahmer 1993).

4 Hauschild/Schlaak (1999) schlagen mit der Faktorenanalyse ein Instrument zur differenzierten Beurteilung des Innovationsgrades vor, wobei Veränderungen in der Produkttechnologie, dem Absatzmarkt, dem Beschaffungsbereich, dem Produktionsprozess, der formalen Organisation, der informalen Organisation und des Kapitalbedarfs als unternehmensbezogener Bewertungsmaßstäbe herangezogen werden. In der Konsequenz werden fünf Innovationstypen unterschieden (inkrementale Innovation; durchschnittliche Innovation, radikale Innovation, kombinierte Produkt-/Prozessinnovation und technische Diskontinuität).

Das Bild wird dort, wo zusätzlich Innovationen der Arbeitsorganisation eingeführt werden, noch komplexer. „Aufgrund der Vielfältigkeit der Wirkungszusammenhänge zwischen Innovation und Beschäftigung ist es methodisch und empirisch sehr anspruchsvoll, die positiven Beschäftigungseffekte aufgrund vermehrten Wachstums und verbesserter Wettbewerbsfähigkeit gegen die gleichzeitig beschäftigungsmindernd wirkenden Verdrängungs- und Rationalisierungseffekte abzuwägen.“ (Stille/Bitzer 1998; 24)

Wenn auch im Zusammenhang mit Innovationen begrifflich klar auf Neuheit, Neuerung, Veränderung abgestellt wird, ist die Abgrenzung gegenüber Nichtinnovationen empirisch oft schwierig. Im Hinblick auf die Frage nach Beschäftigungseffekten von Innovationen dürfte die Abgrenzung gegenüber Einflussfaktoren, die nicht auf Innovation beruhen, im Einzelfall schwierig sein. So werden im Prinzip Konjunkturreffekte, die Effekte routinierter Effizienzverbesserungs-/Kostensenkungsmaßnahmen (Rationalisierung), Veränderungen im „make or buy“-Mix aus Kosten- oder Kapazitätsgründen, ebenso entsprechende Verlagerungen von Aktivitäten ins Ausland, nicht unter den Innovationsbegriff gefasst. Allerdings können sie indirekt Anstöße zu Innovationen bewirken.

Der Zusammenhang von Innovation und Beschäftigung wird allgemein als komplex angesehen. Empirische Untersuchungen wie z.B. des ifo-Instituts für die Bundesrepublik oder des ZEW auf europäischer Ebene (ifo 1997: 21 f.; ZEW 1997: 73) konstatieren, dass nicht alle Wirkungszusammenhänge berücksichtigt werden konnten und weisen auf die Einschränkungen ihrer Aussagen hin. Zusammenfassend konstatieren Stille/Bitzer: „Innovationen sind unmittelbar mit anderen zentralen Variablen des Wirtschaftsgeschehens verknüpft (Investitionen, Wachstum, Produktivität, Ausbildung). Insofern sind ihre spezifischen Beschäftigungswirkungen von anderen Einflüssen kaum zu separieren.“ Die Auswirkungen von Innovationen, so die Autoren, verschwinden empirisch unweigerlich in einem „Kausalitätsnebel“

Abbildung 2: Innovation im Fahrzeugbau 1998 – ZEW Branchenreport

	<b>Fahrzeugbau 1)</b>	<b>Verarbeitendes Gewerbe insg.</b>
Innovationsaufwendungen	33,4 Mrd. DM	109 Mrd. DM
Innovationsintensität (Aufwendung/Umsatz)	8%	4,6%
Anteil innovativer Unternehmen <sup>2)</sup>	71%	66%
mit Produktinnovation	67% (>200 Beschäftigte: 92%)	62%
mit Prozessinnovation	61%	54%
mit Marktneuheiten	35% (>200 Beschäftigte: 70%)	28%
Umsatzanteile neuer Produkte	69%	39%
Kosteneinsparungen durch Prozessinnovationen	9%	6%

1) Fahrzeugbau umfasst die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen sowie den sonstigen Fahrzeugbau (Schiffbau, Schienenfahrzeuge) mit insgesamt 910.000 Beschäftigten

2) Neue bzw. merklich verbesserte Produkte/Prozesse innerhalb der letzten 3 Jahre

Quelle: ZEW Branchenreport Innovation, Jg. 7, No. 3, Sept. 2000



(Stille/ Bitzer 1998; 50). Zum gleichen Ergebnis kommen Blechinger und Pfeiffer (1999). Sie zeigen, „dass es keine allgemeingültige empirisch abgesicherte Gesetzmäßigkeit bei den Beschäftigungswirkungen von Innovationen auf der Ebene von Unternehmen gibt.“

Das empirische Innovationsgeschehen wird seit 1993 vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung Mannheim (ZEW) untersucht. Im verarbeitenden Gewerbe wird hierzu jährlich ein repräsentativer Querschnitt von rund 2.500 Unternehmen zu seinen Innovationsaktivitäten und seinen Innovationsstrategien befragt. Die Ergebnisse des letzten Innovationsreports sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst:

Ein gewichtiger Nachteil dieser und ähnlicher auf Survey-Daten beruhender Untersuchungen sind ihr hoher Aggregationsgrad sowie ihre begrenzte Aktualität. So liegen gegenwärtig Daten und Verlaufsmuster bis zum Jahre 1998 vor. Im Hinblick auf die eingangs festgestellte hohe Veränderungsdynamik ist eine solche Ex-post-Betrachtung von begrenztem Wert.

Mit den hier vorgelegten Ergebnissen dieser ersten Untersuchungsphase und explorativen Studie konnten wir uns aufgrund von verfügbaren Zeit- und Kapazitätsressourcen den vier o.g. Innovationsfeldern (neue Werkstoffe, Altautorecycling, drive-by-wire, Brennstoffzelle) nur annähern - eine tiefergehende Analyse dieser sowie weiterer Innovationsfelder muss einer vorgesehenen Folgestudie vorbehalten bleiben.

Wir legen in den folgenden vier Abschnitten die Untersuchungsergebnisse in Bezug auf die einzelnen Innovationsfelder und aus einer Prozesskettenperspektive vor, indem wir zunächst jeweils die Auslöser und Triebkräfte der Innovationsprozesse aufgreifen, sie anschließend anhand von Fallstudien konkretisieren und abschließend in ihrer zeitlichen Umsetzungsperspektive (Diffusionsprozess) sowie ihrer damit zusammenhängenden Bedeutung bewerten.

Im letzten Kapitel ziehen wir die - vorläufigen - Schlussfolgerungen aus unseren Untersuchungsergebnissen und hoffen, mit diesen Ergebnissen Anstoß für weitere Diskussionen zu geben.

### 3 Neue Werkstoffe - Leichtbau

#### 3.1 Auslöser, Triebkräfte, Hemmnisse

Treibende Kraft beim Innovationsfeld Neue Werkstoffe und Leichtbau ist die Forderung nach geringerem Kraftstoffverbrauch und weniger Emissionen. Die Verwendungen „leichter“ Materialien wirkt zudem der Gewichtsspirale entgegen, die durch steigende Komfort- und Sicherheitsbedürfnisse das Gesamtgewicht der Fahrzeuge hat steigen lassen.

Allerdings greift beim Thema Leichtbau eine Sicht auf den Werkstoff allein zu kurz. Entscheidend ist eine ganzheitliche Betrachtungsweise, die Materialeigenschaften und konstruktive Verwendung umfasst. So ist z.B. bei der Herstellung von Motorkomponenten Magnesium-Druckguss ein leichterer Werkstoff als Aluminium-Druckguss. Demgegenüber ist Kunststoff vom spezifischem Gewicht her zwar leichter als Magnesium, Magnesium erlaubt aber aufgrund seiner Materialeigenschaften dünnere Wanddicken, so dass sich insgesamt der Einsatz von Magnesium-Druckguss anbietet.

Fahrzeuge werden zukünftig ein Multi-Material-Design aufweisen, das für die jeweiligen Anforderungen auf den jeweils passenden Werkstoff zurückgreift (vgl. Friedrich 2000). Das Multi-Material-Design umfasst Leichtmetallwerkstoffe wie Aluminium und Magnesium, Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoffe, Hochleistungskunststoffe und Keramik.

Multi-Material-Design findet sich bisher:

- Im **Antriebsstrang** eines Fahrzeuges: Zylinderköpfe aus Aluminium, Kurbelgehäuse aus Grauguss und Deckel aus Stahlblech, ergänzt durch Kunststoff- und Verbundmaterialien für Saugrohre, Lüfter und Dichtungen sowie Keramik als Träger in Katalysatoren.
- Auch im Bereich des **Fahrwerkes** kann zunehmend von einem Werkstoffmix gesprochen werden. Beispielsweise werden bei der Audi A4 Vierlenker-Vorderachse Schwenklager sowie obere und untere Lenker aus Aluminium-Legierungen hergestellt. Geforscht wird an der Herstellung von Blatt- und Schraubenfedern aus Faser-Verbund-Kunststoffen, mit denen Gewichtsreduzierungspotenziale erschlossen werden können.
- Im Bereich der **Karosserie** werden einerseits - neben dem klassischen Werkstoff Stahl - Leichtmetalle wie Aluminium und Magnesium verwendet, andererseits u.a. aber auch Verbundwerkstoffe für Anbauteile (z.B. Klappen, Radhaus).

Hemmnisse für die Umsetzung von Multi-Material-Design liegen in der Verbindungs- bzw. Fügetechnik von Materialien, die elektrochemisch in einem ungünstigen Verhältnis stehen. Die Verwendung von Leichtmetall wird darüber hinaus durch die Volatilität der Materialpreise behindert, da Leichtmetall an den Rohstoffbörsen gehandelt wird und hier starken Preisschwankungen unterliegt.

Die Diskussion über den Einsatz von leichteren Werkstoffen im Karosseriebau hat zu einer stimulierenden Wettbewerbskonstellation zwischen Stahl, Leichtmetallen und Kunststoffen geführt, die weitere Innovationen hinsichtlich der Gewichtsreduzierung hervorbringen wird. Da die o.g. Triebkräfte weitere Einsparmöglichkeiten am Gewicht des Fahrzeuges nahezu erzwingen, wird sich dieser „Innovationswettbewerb“ in den nächsten Jahren weiter verstärken.

Im Rahmen dieser Studie haben wir Interviews mit dem Leiter Konzern Fahrzeug Forschung der Volkswagen AG und einem Mitglied des Direktoriums Forschung, Produktion, Werkstoffe der DaimlerChrysler AG geführt - exemplarisch haben wir den Karosserieleichtbau am Beispiel des A2 bei der AUDI AG, Werk Neckarsulm untersucht. Die Entwicklung einer vollständig auf Aluminium basierenden Karosserie ist vor dem Hintergrund einer Multi-Material-Design-Strategie als eine technologische Differenzierungsstrategie zu werten.

Unsere Fallstudie bezieht sich nur auf einen kleinen Ausschnitt des Anwendungsbereichs Neuer Werkstoffe. Neben der Karosserie gibt es in den Bereichen Antriebsstrang und Fahrwerk weitere vielfältige Einsatzbereiche leichter Materialien, die hier nicht dargestellt werden konnten. Dies betrifft z.B. Motorkomponenten wie Saugrohre, Kolben aus Aluminium und perspektivisch aus Magnesium sowie Fahrwerkskomponenten wie z.B. das Leichtbau-Gelenk von GKN Löbro (Blech statt Stahl als Werkstoff).

### 3.2 Fallstudie Leichtbau: Die Aluminium-Karosserie des A2

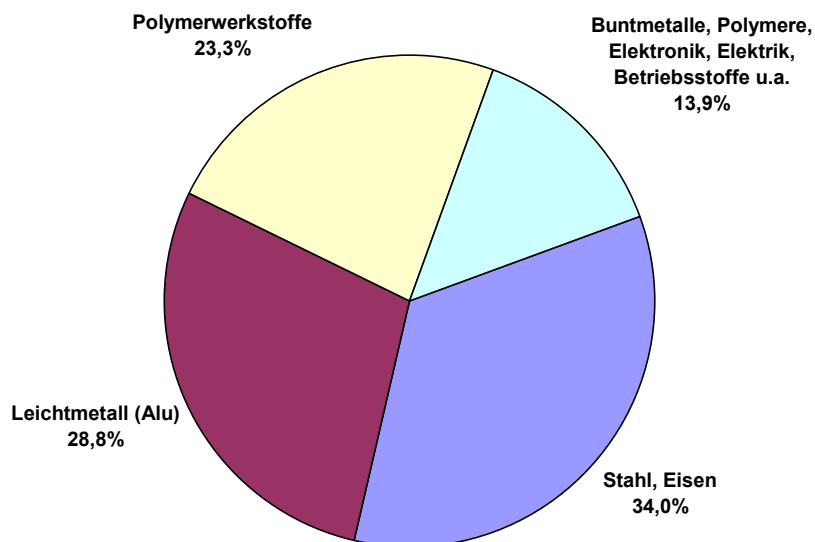
Das Kompaktfahrzeug AUDI A2 ist das erste in Großserie gebaute Fahrzeug, dessen Karosserie vollständig aus dem Leichtmetall Aluminium besteht. Die Tageskapazitäten sind auf 300

Einheiten ausgelegt (d.h. Jahreskapazität 60.000 Einheiten) - beschäftigt sind 1.500 Arbeitnehmer in der Fertigung, davon 580 im Rohbau.

Die Herausforderung bestand darin, diese Leichtbauweise prozesssicher in der Massenfertigung zu beherrschen. Die technologische Vorbereitung dieses Prozesses erfolgte durch das am Standort Neckarsulm eingerichtete Aluminium-Zentrum (100 Beschäftigte), das neben der allgemeineren Aluminium-Forschung die Erfahrungen mit der Aluminium-Bauweise des A8 auswertete und die nötigen, zusätzlichen Entwicklungsaufwendungen insbesondere hinsichtlich der Konstruktion und Fertigung der Space-Frame-Technik für die Großserie des A2 erbrachte.

Abbildung 3: Materialmix - Gewichtsanteile unterschiedliche Materialien im A2

Anteile von Werkstoffen am Gesamtgewicht A2 (895 kg)



Quelle: ATZ/MTZ Sonderausgabe, März 2000

Für die Realisierung der Aufgabe musste auf Aluminiumhersteller als Halbzeuglieferanten zurückgegriffen werden, die insbesondere Aluminium-Bleche, Aluminium-Strangpressprofile und komplexe Druckgussteile liefern. Hier greift AUDI auf die Alcan-Gruppe und die von dieser Gruppe übernommenen Kapazitäten der Alusuisse-Tochtergesellschaft Alusuisse Bayerisches Druckguß-Werk (DGW), Markt Schwaben zurück.<sup>5</sup>

Bei den Aluminiumherstellern fallen positive Beschäftigungseffekte an - in diesen Unternehmen entsteht ein zusätzliches Geschäftsfeld im automotiven Bereich und ein höherer Entwicklungsaufwand für neue Einsatzbereiche des Aluminiums. Die zusätzlichen Nachfrage-

---

5 Alusuisse DGW fertigt verschiedenste Alu-Komponenten mit ca. 450 Beschäftigten (Umsatz 159 Mio. DM) am Standort - Alusuisse hat die DGW übernommen, um hier eine vertikale Integrationsstrategie zu realisieren: von der Aluminiumherstellung bis hin zu Komponentenfertigung (vgl. <http://www.alusuisse-automotive.com/>).

und Beschäftigungseffekte bei Aluminiumherstellern werden jedoch durch den Wegfall von Geschäftsvolumen bei den Stahllieferanten weitgehend kompensiert.

Im Bereich Presswerk wurden für die Bearbeitung von Blechen mit hohen Oberflächenanforderungen eigene Presswerkzeuge entwickelt. Für diesen Werkzeugbau ergab sich vergleichsweise kein höherer Beschäftigungsaufwand - allerdings wurde auf höhere Einarbeitungszeiten (10 bis 15%) hingewiesen. Beim Tiefziehen von Alu-Blechen muss mit einer geringeren Hubzahl gearbeitet werden, sodass sich hier ein höherer Aufwand von 10% für die Außenhaut-Bleche ergibt. Demgegenüber konnte durch die Verwendung von größeren und hochintegrierten Druckgussteilen die Zahl der Teile jedoch deutlich (ca. 30%) reduziert werden. Relevant ist dies z.B. beim A-Pfosten, der aus einem Stück Aluminium-Druckguss hergestellt wird. Im Presswerk wird daher insgesamt kein höherer Personalaufwand erforderlich.

Der Rohbau selbst ist anlagenintensiv und erreicht mit 80% einen hohen Automatisierungsgrad. Er unterscheidet sich kaum vom klassischen Rohbau auf Stahlbasis. Zusätzlicher Personalaufwand entsteht durch das vorbereitende Waschen und Beizen der Karosserieteile und die damit verbundenen logistischen Tätigkeiten (Entnehmen und Umpacken aus Hängegestellen) im Umfang von 9 Personen. Mehr Personal wird weiterhin durch die sog. Visualisierung, d.h. die Begutachtung der Maßhaltigkeit der Karosserie durch „Facharbeiterblick“, eingesetzt. Tendenziell ist dieser Prozess durch Lasertechnik automatisierbar - bisher ist dies aber nicht durchgängig möglich (23 Personen zusätzlich, bei Automatisierung reduzierbar auf 6 Personen). Zusätzlicher Personalbedarf entsteht noch im Bereich Finish für eine werkstoffbedingte Nachbearbeitung der Oberflächen (13 Personen zusätzlich). In der vorgefundenen Struktur hat der Rohbau des A2 damit - im Vergleich zu einem klassischen Rohbau - einen höheren Personalaufwand von 7,8%.

Vorbereitung und Anlauf dieses neuen Rohbaus wurden mit besonders erfahrenen Straßenführern realisiert, die die übrigen Beschäftigten im Rahmen eines erheblichen Lernprozesses eingearbeitet haben. Konzept und Aufwand haben sich insofern bewährt, als er durch eine bisher unerreichte Maßhaltigkeit der Karosserie neue Standards gesetzt hat.<sup>6</sup>

Durch die Space-Frame-Technologie ist es im Rohbau zur Anwendung neuer Prozesstechnologien gekommen. Hierzu zählt der umfangreiche Einsatz des Laserstrahlschweißverfahrens bei der Verbindung großflächiger Blechteile mit der Karosseriestruktur aus Guss- und Profiltteilen und der stärkere Einsatz von Stanznieten, durch die Punktschweißvorgänge ersetzt werden.

In den Fertigungsabschnitten Lackiererei und Montage lassen sich gegenüber den konventionellen Verfahren keine zusätzlichen Beschäftigungseffekte feststellen.

In Bezug auf Reparaturbetriebe und Servicewerkstätten werden durch die Alu-Karosserie lediglich Umstrukturierungen ohne Beschäftigungseffekte erwartet. Um Reparaturen an einer Aluminium-Karosserie durchführen zu können, müssen in den Werkstätten separate Schweißarbeitsplätze geschaffen werden. Da nicht jede Werkstatt separate Alu-Schweißarbeitsplätze einrichten wird, wird hier ein sogenanntes Stützpunktkonzept verfolgt.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass die Beschäftigungseffekte einer auf Leichtbauwerkstoffen basierenden Karosserie im Vergleich zum klassischen Stahlbau ein ge-

---

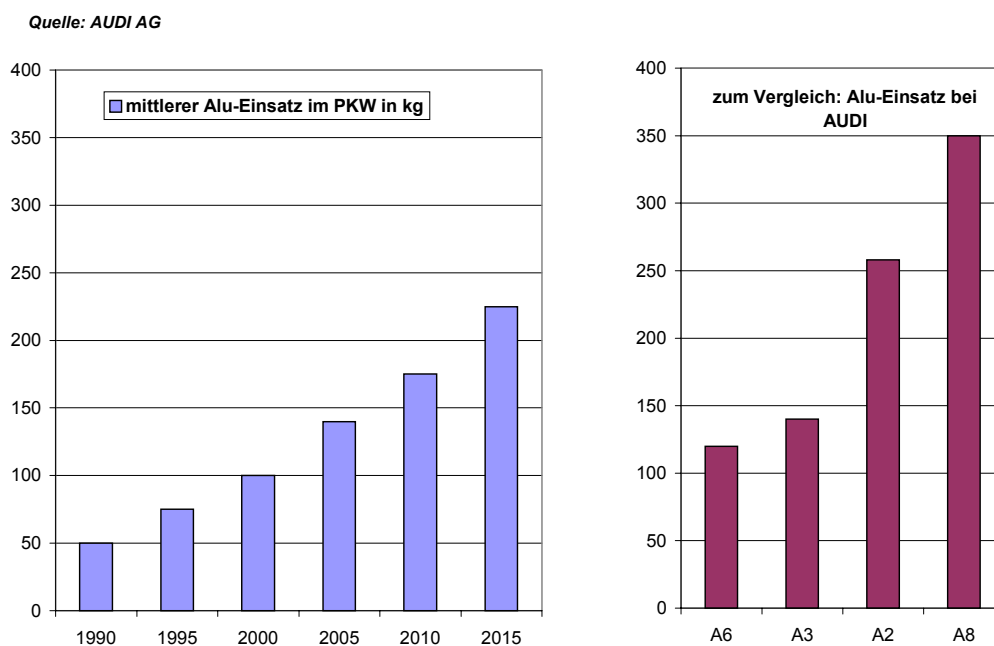
6 Beim Aluminium-Rohbau wird nur bei 5% der Karosserien eine Abweichung der Maßhaltigkeit von 1 mm überschritten, beim Stahl-Rohbau sind es 15% der Karosserien.

ringes positives Niveau aufweisen. Dies geht allerdings einher mit deutlich höheren Verlagerungseffekten auf der Sektorebene im Verhältnis zwischen Aluminium- und Stahllieferanten.

### 3.3 Diffusion/Zeitperspektiven

Von großer Bedeutung ist im Bereich Leichtbau die parallele Innovationskonkurrenz zwischen den Werkstoffen Stahl, Aluminium und Kunststoffen. Die Aluminiumkarosserie stellt dabei eine mögliche alternative Entwicklungsrichtung dar, die sich auf breiter Basis kaum durchsetzen dürfte.

Abbildung 4: Durchschnittlicher Aluminium-Einsatz im PKW (kg) in Europa



Betrachtet man den mittleren Aluminiemeinsatz im PKW (vgl. Abbildung 4), so wird im Zeitraum 2000 bis 2015 in Westeuropa in einer flachen Diffusionskurve der Einsatz von Aluminium bei Hauben, Motor/Fahrwerk und Innenteilen von jetzt ca. 100 kg auf ca. 220 kg im Jahr 2015 steigen. Bei einer auf Aluminium basierenden Karosserie liegen die Aluminium Gewichtsanteile bereits heute auf einem Niveau von 258 kg (A2).

Auch beim Werkstoff Stahl sind die Spielräume hinsichtlich der Gewichtsreduzierung noch nicht ausgeschöpft. So gelang es Porsche-Ingenieuren im Rahmen des Projektes Ultralight Steel Auto Body (ULSAB) eine Stahlkarosserie zu entwickeln, die Gewichtseinsparungen von 25% gegenüber einer vergleichbaren Karosserie ermöglichte (vgl. Automobil Produktion 6/1998: 114).

Nach Aussagen von Experten besitzen die Faserverstärkten Kunststoffe ein noch höheres Potential für den Leichtbau. Um hier zu einem Durchbruch zu kommen, müssen jedoch zum einen ungelöste technische Fragen geklärt sein, was einen erheblichen FuE-Aufwand erfordert und zum anderen die Problematik der tragenden Karosserieteile aus diesem Werkstoff betrifft.

Durch die Verbindung von Produkt- und Prozessinnovationen im Leichtbau ist es der europäischen Automobilindustrie gelungen, auf diesem Feld einen Wettbewerbsvorteil zu erlangen. Diese Entwicklung kann weiter befördert werden

- a) durch Regulierungsprozesse im Sinne der Erreichung von ökologischen Zielsetzungen im Verkehr und
- b) durch weitere Zusammenarbeit von Automobilherstellern und Leichtmetall-Herstellern hinsichtlich der Spezifizierung von Standards, die die Legierungen, Korrosionsfähigkeit etc. betreffen.

Durch das Multi-Material-Design entstehen jedoch bei der Wiederverwertung von Werkstoffen zusätzliche Probleme, die sich in größeren Aufwendungen für die Demontage von Automobilen sowie das anschließende Sortieren von unterschiedlichen Materialien niederschlagen.

## 4 Altautorecycling

### 4.1 Ökologisch induzierte Innovation durch Regulierung

Eine regulierte Altautoentsorgung, als ökologisch induzierte Innovation im bundesdeutschen System Fahrzeugbau, wird seit Beginn der 90er Jahre diskutiert und findet ihren Niederschlag mit der Verabschiedung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes im Herbst 1994. Seit Oktober 1996 in Kraft, wird hierin die Produktverantwortung im Hinblick auf die Erfüllung der Ziele der Kreislaufwirtschaft geregelt. Die Unternehmen wurden damit verpflichtet, ihre Produkte recyclinggerecht zu gestalten und sicherzustellen, dass eine Rücknahme ausgedienter Produkte erfolgt.

Die Automobilwirtschaft setzte auf die eingeräumte Möglichkeit, die Umsetzung der Anforderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes im Rahmen der freiwilligen Selbstverpflichtung (FSV) in die eigenen Hände zu nehmen. Entsprechend dieser Selbstverpflichtung wurden in der Altautoverordnung von Juli 1997 die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Altautoentsorgung in der Bundesrepublik festgelegt<sup>7</sup> - die Altautoverordnung und die FSV traten zeitgleich zum 01.04.1998 in Kraft.

Zur Umsetzung dieses Ziels haben sich die 15 Trägerverbände der FSV als Repräsentanten der Automobilwirtschaft zur Arbeitsgemeinschaft Altauto (ARGE-Altauto) zusammengeschlossen - mit ihr kooperiert auch eine Vereinigung<sup>8</sup> der ausländischen Automobilhersteller bzw. -Importeure.

Ergänzt - und insbesondere aus Sicht der Automobilhersteller verschärft - wird dieser Regulierungsrahmen durch eine Richtlinie zur Altautoentsorgung auf europäischer Ebene. Die EU-Richtlinie wird nach den Ergebnissen des offiziellen Vermittlungsverfahrens im Mai 2000 - abweichend zu den bisherigen Regelungen in der Bundesrepublik - ab 01.07.2002 die OEMs

---

7 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) (Bundesgesetzblatt 1994, Teil 1 Nr. 66, S. 2705, geändert am 12.9.1996, Bundesgesetzblatt Teil 1, S. 1354); Verordnung über die Entsorgung von Altautos und die Anpassung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften vom 04.07.1997 (Bundesgesetzblatt 1997 Teil I Nr. 46, Seite 1666); Freiwillige Selbstverpflichtung der Wirtschaft zur umweltgerechten Altautoverwertung (Pkw) im Rahmen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vom 21.02.1996

8 M.A.R.I. = Markenübergreifende Automobil-Recycling Initiative

zur kostenlosen Rücknahme von Neufahrzeugen und ab 01.01.2007 zur kostenlosen Rücknahme der Bestandsfahrzeuge verpflichten.<sup>9</sup>

Tabelle: Ziele, Umsetzung sowie Zielerreichung der FSV/Altautoverordnung

Ziele und Umsetzung einer umweltgerechteren Altautoentsorgung (FSV/Altautoverordnung)	bisherige Umsetzung entsprechend des 1. Monitoringberichtes der ARGE Altauto (2000)
Schaffung infrastruktureller Bedingungen	15.000 Annahmestellen und 1.115 Verwertungsbetriebe sowie 41 Shredderbetriebe (weitere 16 Betriebe sind in den Nachbarländern angesiedelt) <sup>10</sup>
recyclinggerechte Konstruktion der Fahrzeuge durch OEMs	Beachtung der Recyclingfähigkeit im Produktentwicklungsprozesses (Lastenheft), Reduzierung der Materialvielfalt, Vermeidung von Verbundkonstruktionen sowie Materialidentifikation, Nutzung angemessener Verbindungstechnologien und Einsatz von Rezyklaten
Schaffung von Stoff- und Materialkreisläufen	Systeme der Verwertung von Altteilen aus den Reparaturwerkstätten, die Aufarbeitung von PKW-Altteilen zur Wiederverwendung sowie der Werkstattentsorgung
Verwertungsnachweis und Verbleibserklärung zur Deklaration einer Verwertung des Altautos	Nachweis und Erklärung sind eingeführt - es mangelt allerdings an der Kontrolle durch die Behörden
quantitative Ziele: Gewichtsprozente der zu beseitigenden Abfälle max. 15% bis zum Jahr 2002 und max. 5% bis zum Jahr 2015	Recyclingquote 1999: 18 - 22%
Rücknahmeverpflichtung der OEMs zu Marktpreisen, bei Fahrzeugen bis 12 Jahren kostenlos (unter bestimmten Bedingungen)	aktuell werden die Abgabepreise zwischen Letztbesitzer und Verwerter überwiegend frei ausgehandelt <i>(siehe hier die Veränderungen im Rahmen der zu erwartenden EU-Richtlinie)</i>

9 Für die damit verbundenen Risiken sind von den OEMs Rückstellungen zu bilden, die die Gewinne der Unternehmen in den nächsten Jahren stark belasten werden - so geht z.B. Opel davon aus, dass pro Fahrzeug mit einem Aufwand von 180 DM zu rechnen ist. Andere Experten gehen von durchschnittlichen Kosten in Höhe von 350 DM aus. Gerechnet wird insgesamt mit einem Rückstellungsvolumen im zweistelligen Milliardenbereich (vgl. VDA 2000: 163). Bei ca. 80 Mio. Fahrzeugen deutscher Hersteller und dem o.g. Aufwand ergibt sich ein Volumen von 14,4 bis 28 Mrd. DM. Volkswagen hat im GJ 2000 hierzu bereits eine Rückstellung in Höhe von 1,4 Mrd. DM gebildet. (Süddeutsche Zeitung, 21.02.2001)

10 Nach Altautoverordnung anerkannte Annahmestellen und bei der ARGE angemeldete zertifizierte Verwertungsbetriebe (die ARGE rechnet mit einem Bestand von 1.400 zertifizierten Betrieben insgesamt).

**Verfahren der Altautoverwertung vor 1998:** Der Letztbesitzer lieferte das Fahrzeug bei einem der 3.000 bis 5.000 Altautoverwerter/Schrotthändler ab - diese Branche mit ca. 20.000 bis 25.000 Beschäftigten ist kleinst- bis kleinbetrieblich strukturiert und operierte vor dem Hintergrund einer undurchsichtigen Genehmigungssituation.<sup>11</sup> Der Prozess beginnt mit der Trockenlegung, setzt sich über die Demontage wieder- oder weiterverwendbarer Teile fort (Orientierung ist wirtschaftliche Verwendung) und endet mit der Weiterleitung an einen Shredderbetrieb (Schrottplatz). Hier erfolgt die Zerkleinerung der Restkarosse und Trennung von Schwer- und Leichtfraktion. Die Schwerfraktion dient zum einen als Rohmaterial für die Eisen- und Stahlindustrie (Stahlschrott) und zum anderen für Hüttenbetriebe (NE-Metalle). Die Leichtfraktion (Kunststoffe, Gummi, Textil etc.) wird deponiert. Ergebnis des Shredderprozesses: 65% Stahlschrott, 10% NE-Metalle, 25% Shreddermüll und daraus abgeleitet eine gewichtsbezogene Recyclingquote von Altfahrzeugen in Höhe von 75% (vgl. Wallentowitz 1996).

**Problemdimensionen:** Die stoffliche Zusammensetzung des Fahrzeuges (10.000 Teile und 40 Werkstoffe) hat sich deutlich verändert. Der Kunststoffanteil lag 1965 noch bei 2% des Fahrzeuggewichtes und stieg auf etwa 14% im Jahr 2000 - dies zu Lasten von Eisen- und Stahlanteilen (2000 ca. 61%). Gleichzeitig steigt die Zahl der Löschungen und damit der Potenziale für eine Altautoverwertung von Ende der 80er Jahre auf Ende der 90er Jahre von 2 Mio. auf 3 Mio. Einheiten (Löschungen). Letztlich ist seit 1990 die Shreddermüllfraktion Sondermüll (Verteuerung der Entsorgung).

#### 4.2 Neue Struktur nach in Kraft treten der Altautoverordnung

Die Zahl der Betriebe, die Altautos verwerten *dürfen*, ist aufgrund der Zertifizierung deutlich gesunken (1.400 zertifizierte Verwertungsbetriebe). Der Letzthalter kann - was die flächendeckende Struktur der Betriebe verdeutlicht - einen Verwerter im Umkreis von durchschnittlich 10 km erreichen (ARGE 2000: 21).

Der Letztbesitzer kann sein Fahrzeug bei den anerkannten Annahmestellen (ca. 15.000) oder direkt beim Verwerter abgeben. Die OEMs haben mit Verwertungsbetrieben Kooperationsvereinbarungen geschlossen und vermitteln die Letztbesitzer an ihre Kooperationspartner - sie selbst betreiben keine Verwertungsbetriebe. Nur anerkannte Annahmestellen oder zertifizierte Verwerter stellen Verbleibserklärungen oder Verwertungsnachweise aus, die dem Letztbesitzer die Gewähr einer umweltgerechteren Entsorgung seines Fahrzeugs bieten.

Der Prozess der Altautoverwertung vollzieht sich in gleichen Arbeitsschritten wie oben beschrieben - aber in veränderten betrieblichen Strukturen, die sicherstellen, dass einerseits die Trockenlegung in geschlossenen Kreisläufen erfolgt (getrennte Sammlung und Entsorgung) und für die demontierten Teile Materialkreisläufe für den Ersatzteilhandel - bzw. vorgeschaltet die Aufbereiter - aufgebaut wurden. Restkarossen werden an zertifizierte Shredderbetriebe geliefert.

---

11 Lediglich 9% der beispielhaft untersuchten niederländischen Verwertungsbetriebe hätte 1996 Altautorecycling betreiben dürfen.



#### 4.2.1 Die Akteure und die Beschäftigungswirkungen

Zur Einschätzung der Strukturveränderungen sowie als Basis für vorläufige Aussagen zu Beschäftigungseffekten haben wir im Rahmen dieser explorativen Studie eine Reihe von Expertengesprächen geführt.<sup>12</sup>

Im Folgenden werden für die einzelnen Akteure in der Prozesskette die Strukturveränderungen sowie mögliche Beschäftigungswirkungen kurz dargestellt.

- **Annahmestellen und Behörden:** Die Annahmestellen sind überwiegend in die Niederlassungen oder Werkstätten des Kfz-Handwerks integriert, so dass sich hier zusätzliche administrative Aufgaben und leicht positive Beschäftigungseffekte (< 2,5%) ergeben haben dürften. Bei den Behörden/öffentlichen Verwaltung (hier insbesondere den Öffentlichen Fahrzeug Registern) dürfte sich kein positiver Beschäftigungseffekt bemerkbar machen, da die wenigsten Ämter die Kontrolle von Abmeldung - Stilllegung - Verwertungsnachweis oder Verbleibserklärung umsetzen (s.u. Hemmnisse).
- **Altauto-Verwerter:** Die Branche ist kleinst- und kleinbetrieblich geprägt - nur 27% der Betriebe haben mehr als 15 Mitarbeiter, demgegenüber haben 44% der Betriebe bis zu vier Mitarbeitern. Dabei handelt es sich um überwiegend etablierte Betriebe (80% älter als 7 Jahre), so dass davon ausgegangen werden kann, dass durch die Beteiligung an der Altautoverwertung durch Zertifizierung des Unternehmens so gut wie keine neuen Betriebe entstanden sind, die zusätzliches Beschäftigungspotenzial erschlossen haben. In Bezug auf die Beschäftigungsperspektive werden so gut wie keine Arbeitsplatzeffekt erwartet (vgl. Holzhauer 1999).

Die von uns befragten Betriebe sehen für sich unterschiedliche Entwicklungsperspektiven. ALBA Autoverwertung erwartet keine Erweiterung der Aktivitäten oder positive Beschäftigungseffekte. Der markenunabhängige Verwertungsbetrieb hat insgesamt 9 Mitarbeiter. Demgegenüber hat der markenbezogene Verwerter (MB ATC) seine Aktivitäten durch einen weiteren Standort sowie durch die Erschließung weiterer Geschäftsfelder (Verwertung von Nfz) in jüngster Zeit ausgeweitet und weitere Beschäftigungsmöglichkeiten eröffnet und beschäftigt aktuell 65 Mitarbeiter.

- **Shredderbetriebe:** Die Struktur der Shredderbetriebe setzt auf dem bisherigen Bestand auf und dürfte sich kaum geändert haben (Ausnahme: Aufbau einer Modell-Shredderanlage im Rahmen einer Initiative der ARGE). Eine Shredderanlage kann - ohne Nebenaktivitäten - mit etwa 7 Personen betrieben werden; durchschnittlich hat ein Betrieb etwa 20 gewerbliche Arbeitnehmer sowie 4 bis 5 Angestellte. Hier werden neben Restkarossen weitere Abfallmengen (Haushaltsgeräte etc.) bearbeitet. Eine der größten Shredderanlagen ist nach eigener Einschätzung die Rohstoff-Recycling GmbH, Osnabrück, die mit 55 gewerblichen Arbeitnehmern etwa 500.000 t pro Jahr verarbeitet.<sup>13</sup>

---

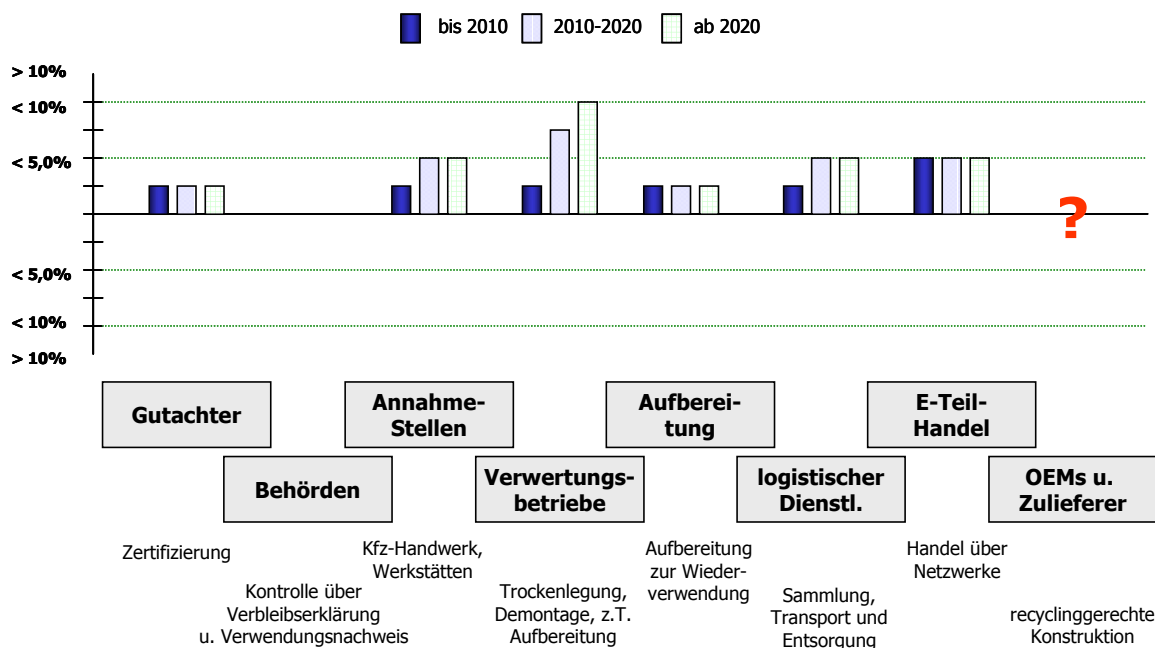
12 Gespräch bei der ALBA Autoverwertung GmbH, Berlin verbunden mit einer Betriebsbegehung, längere Telefon-Interviews mit einem markenbezogenen Altautoverwerter, Mercedes Benz ATC GmbH, Stuttgart und mit dem Betriebsleiter eines Shredderbetriebes, der Rohstoff-Recycling Osnabrück GmbH; aufgenommene Kontakte zur ARGE Altauto/VDA sowie zum BDSV (Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.), Düsseldorf sind bislang aus terminlichen Gründen noch nicht zustande gekommen; vorbereitet sind Gespräche bei DC und VW

13 Quelle: Telefon-Interview mit dem Betriebsleiter ([www.rro-gmbh.de](http://www.rro-gmbh.de)), das Unternehmen ist seit 1995 eine Tochtergesellschaft der Georgsmarienhütte

- **Logistische Dienstleister:** Hier besteht eine Infrastruktur von Anbietern, die diese zusätzliche Funktion mit übernehmen. Da es sich um z.T. als Gefahrstoffe deklarierte Güter handelt, kommen hier vor allem Entsorgungsunternehmen von Industrieabfällen, Chemikalien und Sondermüll in Frage, bei denen zusätzliche Geschäftsfelder erschlossen wird. Insofern ist hier mit leicht positiven Beschäftigungseffekten zu rechnen.
- **Netzwerke und Handel (Materialkreisläufe):** Die zertifizierten Verwertungsbetriebe sind – wie z.B. auch ALBA Autoverwertung oder Mercedes Benz ATC, Stuttgart – eingebunden in bestehende „Netzwerke“ zur Wiederverwertung demontierter (und aufbereiteter) Fahrzeugteile. Hier fungieren zentrale Vermittlungsstellen, die Angebot und Nachfrage zusammenbringen – ein Beispiel ist RENET aus dem Ruhrgebiet oder CAR PARTS (ehemals Preussag Recycling), die Informationsnetzwerke aufgebaut haben und betreiben, um den Handel mit Komponenten zu organisieren, Kreisläufe herzustellen und zu stabilisieren.<sup>14</sup>

Sollte jedoch – wie zur Zeit diskutiert – ab 2002 eine Garantiepflicht für Ersatzteile eingeführt werden (ebenfalls im Rahmen der Produkthaftung), wird hier – so ist die Befürchtung – eine weitere Einnahmesäule für die Verwertungsbetriebe deutlich einbrechen, so dass die ökonomische Perspektive überhaupt in Frage gestellt werden wird.

Abbildung 5: Altautorecycling - Prozesskette und zu erwartende Beschäftigungseffekte



### 4.3 Offene Entwicklung

Hauptproblem der Verwerter ist die Zuführung von Altautos. Bei ca. 3 Mio. stillgelegten Fahrzeugen pro Jahr werden nach Einschätzungen der ARGE etwa zwei Drittel nicht verwertet, sondern anderweitig „entsorgt“ - überwiegend durch Export in europäische Nachbarländer, um dort weiter verwendet zu werden (vornehmlich Osteuropa, Nordafrika).

14 Siehe hierzu z.B. [www.renet.de](http://www.renet.de) und [www.carparts.de](http://www.carparts.de).

Im Detail stellt sich das Bild deutlich negativer dar:<sup>15</sup>

- So ist z.B. für das Land Berlin davon auszugehen, dass 1999 etwa 110.000 Fahrzeuge stillgelegt wurden - in die Verwertung kamen jedoch nur etwa 16.000 Einheiten. Bezogen auf das regionale Beschäftigungspotenzial ist noch hinzuzufügen, dass von den 18 zertifizierten Betrieben ca. 80% der Fahrzeuge tatsächlich entwertet wurden - der Rest entfiel auf Verwerter im Umland. Damit fanden ca. 80 bis 85% des eigentlichen Verwertungspotenzials nicht den Weg in die Verwertungsbetriebe.
- Markenbezogen wird die Dimension der „Umlenkung“ besonders deutlich: Im Jahr 1999 wurden 260.000 Mercedes-Benz-Fahrzeuge stillgelegt - davon kamen lediglich 20.000 Einheiten in die Verwertungsbetriebe - der Rest wurde exportiert.

Die ursprünglichen Annahmen, die 1996/97 gemacht wurden, gingen von etwa 7.000 Einheiten jährlich und damit größeren Betriebsstrukturen aus, die eine Altautoverwertung ökonomisch sinnvoll und in größeren Betriebsstrukturen hätten umsetzen können. Bei 1,2 Mio. verwerteten Fahrzeugen im Jahr 1999 und hochgerechnet 1.400 Betrieben (davon 1.115 bei der ARGE Altauto erfasst [ARGE 2000]) ergibt sich durchschnittlich ein Tagesdurchsatz von 3,5 bis 4 Fahrzeugen pro Tag oder von 857 bis 1.076 Einheiten pro Jahr. Um betriebswirtschaftlich operieren zu können, wird bei markenunabhängigen Verwertern von einem Mindest-Verwertungsvolumen von 2.000 Fahrzeugen ausgegangen - hinter diesem Volumen steht ein Arbeitsplatzpotenzial von ca. 9 bis 11 Mitarbeitern pro Betrieb.<sup>16</sup>

Diese Betriebsgrößenstruktur weist darauf hin, dass die Altautoverwertung unter den gegebenen Rahmenbedingungen überwiegend ein Nebengeschäft ist. Häufig sind die (vielleicht rechtlich selbständigen) Betriebe an große Entsorgungsunternehmen oder an Werkstätten (typengebundene Verwerter) angegliedert oder Schrottplatzbetrieben vorgelagert. Im Oberklassensegment (markenbezogene Edelverwerter) dürfte die Betriebsstruktur sowie Beschäftigungssituation etwas größer aussehen, da hier einerseits höherwertiges „Eingangsmaterial“ in die Verwertung geht und die Demontageumfänge damit größer werden.

Rechnet man letztlich die o.g. Durchschnittswerte hoch, so ergibt sich für den gesamten Bereich der **Altautoverwertungsbetriebe** in der Bundesrepublik ein **Arbeitsplatzvolumen in Höhe von 5.400 bis 6.600**. Da - wie oben schon dargestellt - ein Großteil der Betriebe älter als 7 Jahre ist, ist davon auszugehen, dass hier kein zusätzlicher Beschäftigungseffekt bei der Schaffung der Infrastruktur zu verzeichnen war, sondern **eher ein Verdrängungsprozess** stattgefunden hat, der den positiven ökologischen Aspekt hatte, die so genannte „Wildverwerter/Schwarzen Schafe“ weitgehend aus dem Geschäftsfeld zu verdrängen. In Bezug auf die Shredderbetriebe ist ebenfalls davon auszugehen, dass im Rahmen der Umsetzung der Altautoverordnung sowie der FSV auf bestehende Strukturen zurückgegriffen wurde.

Insgesamt scheint angesichts des Standes der Regulierung sowie der Umsetzung der freiwilligen Selbstverpflichtung einerseits sowie der anstehenden Umsetzung der EU-Richtlinie die Situation und Perspektive der Altautoverwertung in der Bundesrepublik unklar zu sein. Die bisher erwarteten Effekte sind konterkariert durch hohe und zunehmende Exporte von Altautos, großbetriebliche Strukturen („Demontage-Fabriken“) haben sich aufgrund der Ein-

---

15 Quelle: Interview ALBA Autoverwertung sowie Telefoninterview MB ATC

16 Angaben aus dem Interview mit ALBA Autoverwertung Berlin sowie Erfahrungswerten bei der Betriebsberatung zur Gründung eines Verwertungsbetriebes 1995/96

gangsmengen bisher nicht etablieren können und eine Kontrolle der Verwertung bzw. des Verbleibs der Altfahrzeuge durch die Fahrzeugregister erfolgt nur unzureichend. Darüber hinaus fördert die Preisverhandlung zur Altautoentsorgung und die damit verbundene Kostenbelastung des Letztbesitzers einen Verkauf des Fahrzeugs an einen Händler, der die Fahrzeuge ins Ausland verbringt. In wie weit sich durch die Umsetzung der EU-Richtlinie für die bisherigen Akteure die Geschäftsperspektiven durch erhöhte Fahrzeugeingänge deutlich verändern, ist u.E. offen.

## 5 Elektronisierung im Fahrzeugbau am Beispiel drive-by-wire

### 5.1 Der Trend zur Elektronik - Sicherheits- und Komfortaspekte

Die Megatrends und zukünftigen Anforderungen im Automobilbau hinsichtlich der Reduzierung von Verbrauch, Gewicht und Bauraum sowie die Erhöhung der aktiven und passiven Sicherheit, des Komforts und des Packaging sind verbunden mit dem Einsatz von elektronischer Steuerung. Nahezu alle Innovationen der nächsten fünf bis zehn Jahre im Fahrzeugbau basieren auf dem Einsatz von Elektronik sowie der Systemintegration von Elektronik und Mechanik. Vor diesem Hintergrund wird davon ausgegangen, dass die Dynamik der Computer- und Softwareindustrie im Hinblick auf Technologiesprünge und Entwicklungsdynamiken auf die Automobilindustrie ausstrahlen wird (vgl. Mayer 1999).

Die Einführung des Airbags und in der Folge der verschiedenen weiteren Airbag-Variationen (Seitenairbag) im Bereich der passiven Sicherheit sowie die Einführung von Antiblockiersystemen, Antischlupfregelungen, elektronischer Bremskraftverteilung im Bereich der aktiven Sicherheit deuten die weitere Entwicklungsrichtung an. Spätestens mit der rasanten Einführung des elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) seit 1998, das mittlerweile fast schon zur Standardausrüstung eines PKW gehört, wird die Bedeutung der elektronischen Unterstützung des Fahrers deutlich.

In Anlehnung an die Luftfahrtindustrie (fly-by-wire) wird in Bezug auf die Automobilentwicklung drive-by-wire als eines der Felder des zunehmenden Einsatzes von Elektronik verstärkt diskutiert. Häufig wird auch von x-by-wire gesprochen, da sowohl das Gasgeben sowie das Kuppeln und Schalten mit in die Betrachtung einbezogen wird (cruise- und shift-by-wire) (Rieth 1999: 5 ff.). Am Ende einer System-Entwicklung könnte eine umfassende Integration von verschiedenen Funktionen der Fahrerunterstützung wie aktive und passive Sicherheitssysteme, Fahrerassistenzsysteme, Abstandsradar (ACC), Telematik bis hin zum Autopiloten stehen.

Obwohl die einzelnen Komponenten wie die Lenkung oder das Bremssystem klassische Zulieferteile betreffen, ist für die OEMs die Integration der Teilsysteme in eine Gesamtsteuerung (Systemarchitektur) von zentraler Bedeutung, da das Feld der Fahrdynamik Kernkompetenz und Differenzierungsmerkmal ist. Hier werden zur Zeit erhebliche Anstrengungen unternommen, neben drive-by-wire-Systemen zusätzliche Assistenzsysteme aufzusetzen und hierüber Wettbewerbsdifferenzierung zu erreichen. Bei diesen Aktivitäten handelt es sich zu 80% um Softwareentwicklung (z.B. ca. 320 Personenjahre pro Fahrzeugklasse bei DaimlerChrysler), eine Anforderung, die die bisherigen Strukturen in den Entwicklungsabteilungen deutlich verändert, da die geforderten Qualifikationen (IT/Softwareentwicklung) bislang kaum vorhanden waren.

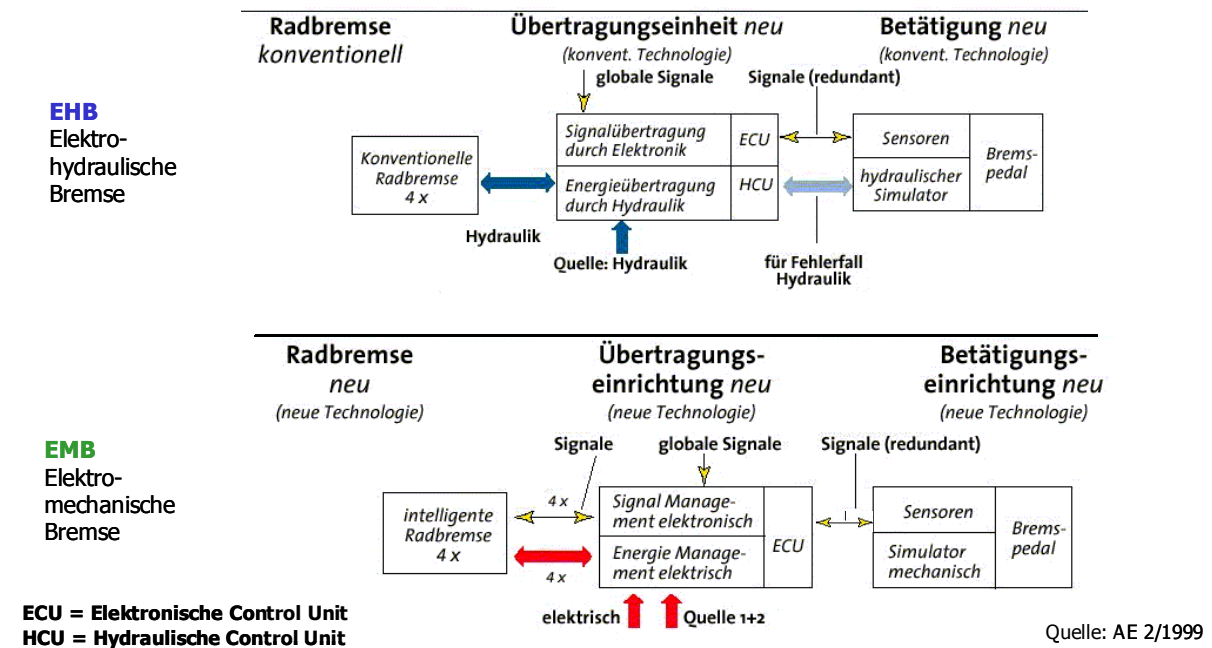
Im Rahmen dieser explorativen Studie haben wir uns zunächst auf die Entwicklung im Bereich der Lenkungs- sowie der Bremssysteme konzentriert und damit auf steer-by-wire und brake-by-wire.

### Stand der Entwicklung bei Lenkungs- und Bremssystemen

- Lenkungssysteme: Das aktuelle Lenkungssystem - Unterstützung des Fahrers durch eine über die Motorverbindung angetriebene Servopumpe - basiert auf mechanischen Verbindungen zwischen Lenkrad und Vorderachse (Lenksäule, Lenkgestänge).
- Bremssystem: Die heute eingesetzten Bremssysteme basieren auf der Hydrauliktechnologie, die seit Mitte der 20er Jahre des letzten Jahrhunderts in der Großserie eingesetzt wird. Pedalerie, hydraulische Verbindung zum mittlerweile standardmäßig eingesetzten Bremskraftverstärker (i.V. mit einer elektronischen Bremskraftverteilung) und zum Großteil mit integriertem Antiblockiersystem (ABS) sowie die hydraulischen Verbindungen zu den Rad-Bremsen - damit ist das System in aller Kürze beschrieben (vgl. Abbildung 6).

In Bezug auf beide System hat es in der Vergangenheit permanente Entwicklungsprozesse gegeben, die Funktionen i.S. der Fahrsicherheit, des Fahrkomforts verbessert haben.

Abbildung 6: EHB und EMB - die weitere Entwicklung der Bremssysteme



### Prozesskette und Akteure

Lenkungs- sowie Bremssysteme sind ein nahezu klassisches Zulieferantengeschäft. Unternehmen wie ZF-Lenkensysteme oder TRW für den Lenkungsbereich oder Continental Teves (vormals ITT-Teves) und BOSCH für den Bremsenbereich seien hier stellvertretend genannt.

Die dominanten Zulieferanten in diesen Bereichen sind Systementwickler (1st-Tier), die diese Systeme selbst entwickeln und für die Systeme die Lastenhefte definieren. So geht z.B. Continental Teves von der Systemverantwortung aus, d.h. interne FuE, um zu wissen, wie etwas funktioniert und vor diesem Hintergrund aber nicht alles zu fertigen. Einbezogen sind dann

weitere zertifizierte Automobilzulieferanten, die Teile zuliefern. So steht im Vordergrund der Eigenfertigung: ABS-Systeme, Elektronik, Sensoren, Bremssättel, Bremszylinder, Bremskraftverstärker, Bremskraftregler wie auch Bremsschläuche, so dass die Zulieferung sich wesentlich auf Vormaterial wie Bleche, Guss, elektronische Bauelemente sowie Prozessoren (ASICs<sup>17</sup>) beschränkt.

## 5.2 Kurz- und längerfristige Entwicklungsperspektiven

Sowohl für die Entwicklung hin zu steer-by-wire wie auch hin zu brake-by-wire und damit dem Wegfall von hydraulischen Systemen und deren Substitution durch elektrische Verbindungen und Elektroantrieb gilt, dass Zwischenschritte vorgesehen sind, die mit der

- elektrischen Lenkung sowie der
- elektrohydraulischen Bremse

umschrieben werden. Kernaspekt dieses Zwischenschrittes ist der Erhalt von Teilsystemen und die weitere Nutzung von Hydraulik in der Verbindung von Steuereinheit und zu steuernder Einheit.

### 5.2.1 Empirische Basis

Basis für unsere Aussagen in diesem Innovationsfeld sind Expertengespräche mit Continental Teves (Leiter Zukunftsentwicklung sowie Betriebsrat), dem Leiter Forschung und Technologie 3 (IuK, Elektronik, Elektrik) von DaimlerChrysler sowie auf einem Telefon-Interview mit dem Gesamt-Betriebsratsvorsitzenden von ZF Lenksysteme, Schwäbisch Gmünd - ergänzt um ein Interview mit dem Betriebsratsvorsitzenden des Werkes Berlin.

Die neue Prozesskette sowie die Auswirkungen auf die Beschäftigung im Bereich drive-by-wire stellen wir, wie in den anderen Innovationsfeldern auch, anhand einer Fallstudie dar.

### 5.2.2 Neue Prozesskette und Akteure sowie Auswirkungen auf die Beschäftigung

Das Grundprinzip der elektrohydraulischen Bremse (EHB) besteht in der Aufhebung der hydraulischen Verbindung zwischen Bremspedal und Bremskraftregler/Hydraulikeinheit (inkl. ABS-Funktion). Der Fahrerwunsch wird mittels eines Drucksimulators und Sensoren<sup>18</sup> erfasst und über Kabel an den elektronischen Regler übertragen. An diese Übertragungseinheit sind höhere Anforderungen im Hinblick auf die Reaktionsgeschwindigkeit (d.h. höhere Rechenleistung) gestellt.

Hier wird auch die Funktion des Bremskraftverstärkers substituiert, so dass das großdimensionierte Blechgehäuse durch Gussteile ersetzt wird. Folge ist hier ein Materialwechsel und damit ein Austausch von Zulieferanten. Da die Bearbeitung des Gussteils zur Aufnahme der Sensorik mit einer aufwendigen mechanischen Bearbeitung verbunden ist und die hydraulische Steuereinheit nicht ersetzt wird, werden keine quantitativen Beschäftigungseffekte erwartet. Diese sind in geringem Ausmaß in den Werken zu erwarten, die Hydraulikleitungen

---

17 Chiplieferanten wie Motorola oder Texas Instruments fertigen die ASICs nach Entwicklungen von Teves.

18 Der Drucksimulator nimmt den Fahrerwunsch auf. Bisherige Blechteile sowie deren Bearbeitung entfallen, hierfür werden mechanisch bearbeitete Gussteile, die Kolben, Dichtungen und Feder aufnehmen sowie Sensoren eingesetzt (dies erfordert wiederum Elektronikkompetenz: smooth shift).

unternehmensintern zuliefern. Dieser negative Beschäftigungseffekt wird durch den Beschäftigungsumfang bei der Herstellung des Drucksimulators kompensiert.

Ähnlich ist die Veränderung im Bereich der Elektro-Lenkung angelegt. Einerseits wird die Unterstützungsfunktion durch die Servopumpe durch eine Elektro-Pumpe realisiert werden, andererseits wird die mechanische (feste) Verbindung zwischen Lenkrad und Lenkgetriebe durch eine Kabelverbindung substituiert, so dass ein Teil der Lenksäule wegfällt.<sup>19</sup> Die heute eingesetzte Servopumpe wird bei ZF Lenksysteme, Werk Berlin aus Zulieferteilen montiert. Die zukünftige elektrisch angetriebene Pumpe wird nicht mehr am Motor angeflanscht (Erzeugung von permanentem Druck und damit Benzinverbrauch), sondern kann unabhängig vom Motor im Fahrzeug angebracht werden. Die Druckerzeugung erfolgt hier nur bei Bedarf - der Strom wird über die Lichtmaschine oder die Batterie bezogen.

In diesem Zusammenhang wird erwartet, dass etwa 30 bis 40% des Arbeitsvolumens bei der Herstellung von Lenksystemen wegfallen wird, wenn nicht einerseits Markterfolge das Beschäftigungsniveau stabilisieren oder andere Produkte ins Produktionsprogramm aufgenommen werden. Eine mögliche Variante wäre hier der Elektromotor (oder Teile hiervon), der selbst hergestellt oder auch von anderen Zulieferanten bezogen werden kann. Um hier im Vorfeld intern Überlegungen zu befördern, ist bei ZF Lenksysteme ein Innovationsarbeitskreis (Betriebsräte/Geschäftsführung) eingerichtet worden, der diese Fragen erörtern wird.

Voraussetzung für den Einsatz beider Zwischenschritte ist jeweils aufgrund des Strombedarfs ein 36 V/42 V - Bordnetz. Diese Diskussion um die Einführung einer leistungsfähigeren Stromversorgung wird seit einigen Jahren geführt, da alle Entwicklungen im Nebenaggregatebereich einen erhöhten Stromverbrauch signalisieren, so dass dieser Schritt der Umstellung unausweichlich erscheint.<sup>20</sup> Allerdings ist zur Zeit noch nicht erkennbar, wer von den OEMs hier den ersten notwendigen Schritt zur Umstellung machen wird - bislang verhalten sich alle abwartend.

### 5.3 Markteinführung und Produktentwicklungsperspektiven

Die Auswirkungen auf die Beschäftigungssituation hängt wesentlich von den zu erwartenden Einsatzzeitpunkten und der zeitlichen Entwicklung der Marktdurchdringung ab. Offen ist unter den Aspekten der Sicherheit, welche „regulierende“ Kraft z.B. den Versicherungen im Sinne einer Unterstützungsfunktion durch eine Neudefinition von Schadensklassen zukommt, wenn bislang entwickelte und absehbare Entwicklungen den Sicherheitsstandard erhöhen und von dieser Seite befördert werden.

- Die elektrische Lenkung befindet sich in der Phase, dass in umfangreichen Maße Prototypen getestet werden und Verträge zum Einsatz in der Großserie ab 2003 abgeschlossen sind. Nach ausreichender Serienerfahrung ist geplant, auch den verbliebenen hydraulischen Teil des Lenksystems durch elektrische Komponenten zu ersetzen. Langfristiges Ziel ist die elektrische Lenkung mit Einzelradsteuerung.

---

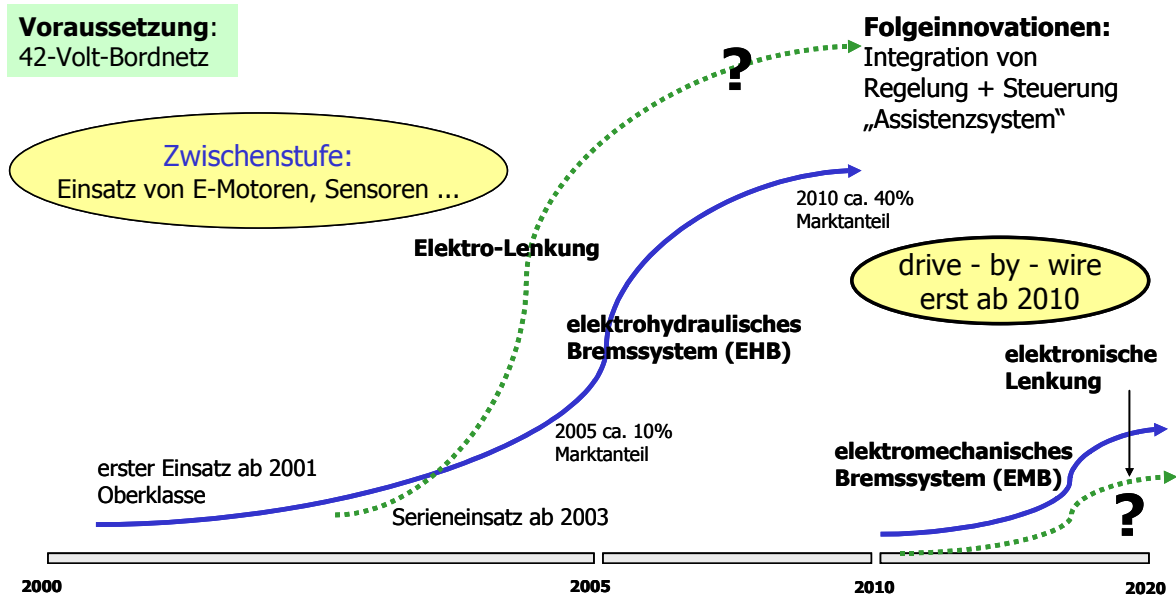
19 Hierdurch Verbessert sich das Crashverhalten - ebenso eröffnen sich neue konstruktive Möglichkeiten für den Einbau des Lenksystems (vgl. ZF Lenksysteme 2000).

20 Alle Batteriehersteller arbeiten an entsprechenden Entwicklungen, so dass auch hier Veränderungen anstehen (hiermit verbunden ist die Umstellung der gesamten Autoelektrik auf 42 Volt oder ein duales System [36 Volt- und 12 Volt-Versorgung]).

- Die elektrohydraulische Bremse wird eher den klassischen Diffusionsprozess von der Oberklasse bis zur Mittelklasse durchlaufen, so dass der Marktdurchdringungsprozess zeitlich gestreckter verlaufen wird. Erste Serieneinsätze werden in der S-Klasse (ab 2001) sowie im neuen AUDI A6 sein - erwartet wird bis 2005 ein Marktanteil von etwa 10%, der bis 2010 auf 40% steigen könnte. Es wird davon ausgegangen, dass 2005 alle Hersteller zumindest ein Modell mit EHB-Ausstattung im Portfolio haben.

Die Vorteile beider Entwicklungen liegen in der Modularisierung der Systeme, ihrer Steuerbarkeit und dem erhöhten Sicherheitsaspekt. Sie weisen darüber hinaus durch verbessertes/flexibleres Packaging auf Erleichterungen beim Einbau und damit auf günstigere, arbeits-sparendere Endmontage bei den OEMs hin. In Bezug auf die elektrohydraulische Bremse ergeben sich negative Arbeitsplatzeffekte für den Service-Bereich (Reparaturwerkstätten), da in diesem System die Diagnosemöglichkeiten vereinfacht werden.

Abbildung 7: Drive-by-wire - Phasenmodell



Die weitere Entwicklungsperspektiven (product-road-map) nach dem Jahr 2010 als frühestem Einsatzzeitpunkt richten sich in beiden Feldern auf eine einschneidendere Veränderung in den jeweiligen Systemen im Hinblick auf die Substitution der hydraulischen Anteile durch Elektromotoren unmittelbar am Bedarfsort (EMB - elektromechanische Bremse) bzw. Substitution mechanischer Teile und hydraulischer Verbindungen durch Elektromotoren (steer-by-wire) unter Wegfall der Lenksäule.<sup>21</sup>

- Bei der EMB erfolgt die bauliche Integration der Druckerzeugung und der direkten Bremsfunktion in der „intelligenten“ Radbremse (E-Motor und Bremse) mit dem ökologischen Vorteil, dass die Bremsflüssigkeit wegfällt (deutliche Vereinfachung bei der Endmontage der OEMs und deutliche Vorteile im Packaging). Hinzu kommt eine Steigerung der Leistungsfähigkeit der Steuerungseinheit und aus Sicherheitsaspekten die Notwen-

21 Zurzeit muss aufgrund gesetzlicher Vorschriften die starre Verbindung durch die Lenksäule erhalten bleiben - insofern wird durch die elektrische Lenkung die heutige Lenksäule „abgespeckt“.



digkeit einer ausfallsicheren Stromversorgung und damit einer zusätzlichen Smart-Batterie.

- **Steer-by-wire** ist aufgrund von noch vorhandenen Sicherheitsbedenken nicht vor 2010 einsetzbar. Der dann anstehende Wegfall der bisherigen Lenksäule sowie der Hydraulik beinhaltet ein erhebliches Gefährdungspotenzial für Beschäftigung. Aus Platz- und Montagegesichtspunkten eröffnet er neue gestalterische Möglichkeiten im Motorraum und hat massiven Einfluss auf das Crash-Verhalten der Fahrzeuge.

Erst in dieser Phase der Entwicklung wird der Einsatz von hydraulischen Systemen im Fahrzeugbau auslaufen (in den nächsten 10 bis 15 Jahren), gleichsam wird es fließende Übergänge hin zur Mechatronik geben, die wesentlich Anforderungen an **Kompetenzentwicklung** stellen, die heute schon beachtet werden müssen. Zudem ist eine Veränderung in der Zusammenarbeit von Zulieferanten zu erwarten, die ihre jeweiligen Kompetenzen kombinieren werden. Beispielhaft sei hier die Kooperation von Continental Teves, Siemens und Brembo (Automobil-Entwicklung 1998/99)<sup>22</sup> oder die Joint-Venture-Bildung ZF Lenksysteme (ZF und BOSCH) angeführt.

Darüber hinaus läuft die Entwicklungsperspektive in eine umfassendere Integration der verschiedenen Regelungs- und Steuerungskreisläufe im Automobil (Assistenzsysteme) in eine einheitliche Software-Architektur, die modular aufgebaut ist. In diesem Zusammenhang eröffnen sich für Dienstleistungsanbieter neue Geschäftsfelder, indem Software aktualisiert und kundenindividuell angepasst wird. Bei gegebener Hardware-Konfiguration lassen sich veränderte, verbesserte und aktualisierte Softwarestrukturen schnell realisieren.

## 6 Brennstoffzelle

### 6.1 Auslöser, Triebkräfte, Hemmnisse

Die Brennstoffzellen-Technologie wird als Alternative zum Verbrennungsmotor und damit als neue Antriebstechnologie für den Fahrzeugbau zunehmend diskutiert (vgl. von Flotow/Steger 2000). Auslöser und Treiber dieses steigenden Interesses sind einerseits die Begrenztheit der Erdölreserven in Verbindung mit einem steigenden Energiebedarf (hier insb. Südostasien mit deutlichen Steigerungsraten), andererseits die Forderung nach einer Reduzierung der Emission beim Betrieb von Fahrzeugen (EURO IV-Norm, California Low Emission Vehicle Program) sowie eine deutliche Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses.

Bei der herkömmlichen Antriebstechnik (Verbrennungsmotor) ist der Wirkungsgrad auf 64% limitiert – unter Nutzung aller technischen Möglichkeiten ist in diesem Bereich noch eine weitere Reduzierung des Schadstoffausstoßes von maximal 30% erreichbar. Damit scheidet langfristig und unter ökologischen Aspekten der Verbrennungsmotor als hinreichendes Antriebskonzept prinzipiell aus.

Das Grundprinzip des Brennstoffzellen-Antriebs ist relativ einfach: Wasserstoff wird direkt als Kraftstoff genutzt, gespalten und der eigentlichen Brennstoffzelle zugeführt und hier in Strom umgewandelt, um einen Elektromotor anzutreiben. Der eindeutige Vorteil dieses Prinzips ist der theoretische Nutzungsgrad von 100% - unter Berücksichtigung verfahrenstechni-

---

22 Continental verhandelt über mehrere Kooperationen zum Ausbau der Automotive-Sparte - insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung elektronischer Lenkungen (Süddeutsche Zeitung, 18.01.2001).

scher Restriktionen (innere Widerstände) kann realistischerweise von einem 80%-igen Wirkungsgrad ausgegangen werden.

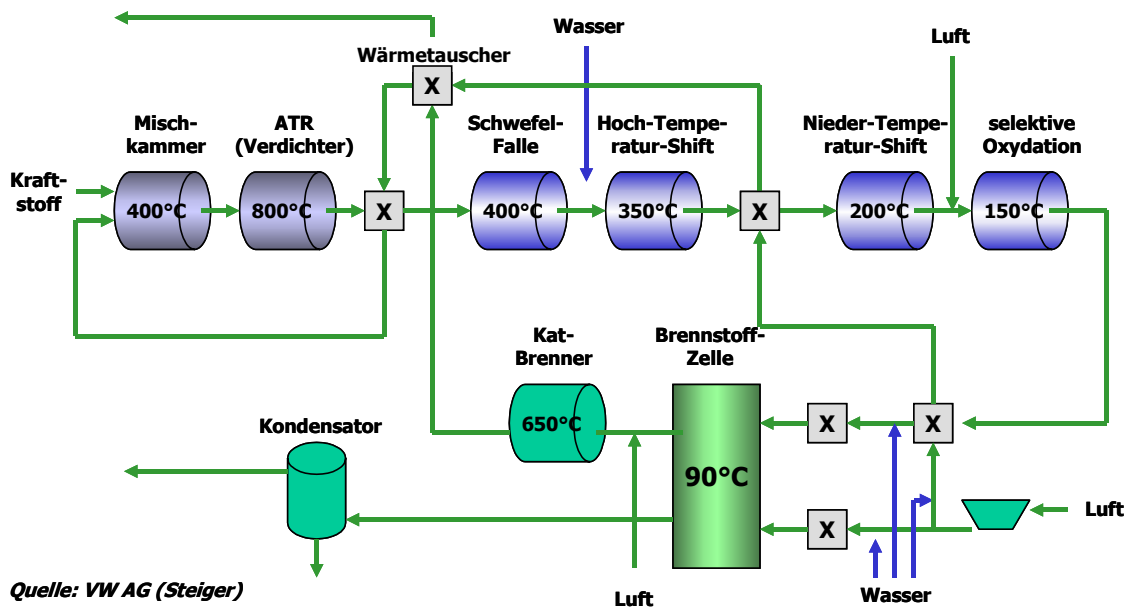
Diesem Grundprinzip des Brennstoffzellenantriebs stehen heute noch drei technische Barrieren im Wege:

- Zurzeit gibt es keine mobilen Speicher, die den Wasserstoff in ausreichender Menge für einen automobilen Einsatz aufnehmen könnten;
- die Wasserstoff-Herstellung in großem Umfang selbst ist energetisch aufwendig, so dass die Energiebilanz keine Vorteile gegenüber herkömmlichen Kraftstoffen aufweist;
- zur flächendeckenden Versorgung mit Wasserstoff - in vergleichbarer Dichte wie das heutige Tankstellennetz - fehlt bislang jegliche Voraussetzung.

Die Brennstoffzellenantriebe bisheriger Demonstrationsfahrzeuge nutzten demgegenüber Methanol aus Druckluftflaschen als Kraftstoff. Obwohl Methanol-Konzepte als langfristige Orientierung angedacht waren, wird mittlerweile von allen Automobilherstellern davon ausgegangen, Wasserstoff direkt als Kraftstoff zuzuführen, um den umständlichen und aufwendigen Reinigungsprozess bei Einsatz von Methanol oder anderer Kraftstoffe (Synthesegase aus reformiertem Benzin, Erdgas, Schwerölen, Kohle, Biomasse) zur Gewinnung von Wasserstoff zu umgehen (vgl. Abbildung 8).

Mit den verschiedenen o.g. Möglichkeiten, Synthesegase zu nutzen, bis reiner Wasserstoff als Kraftstoff im automobilen Einsatz verwendet werden kann, deutet sich auch gleichzeitig das zu erwartende Phasenmodell der Entwicklung der Brennstoffzelle an.

Abbildung 8: Prinzip eines Brennstoffzellensystems mit Gasreinigungsprozess



Die wichtigsten Automobilhersteller setzen sich mit der Brennstoffzellen-Technologie auseinander, verfolgen aber unterschiedliche Konzepte. Als technologisch führend gilt der Verbund von DaimlerChrysler/Ballard Power Systems/Ford Motor Company, der in einem Joint-Venture Xcellsis GmbH an der Entwicklung zur Serienreife arbeitet. Seit 1994 sind mehrere

Brennstoffzellen-Demonstrationsfahrzeuge aus dem Mercedes-Benz-Programm (A-Klasse, Transporter, Bus) vorgestellt worden.

Xcellsis<sup>23</sup> als Joint-Venture zwischen DC, FORD und Ballard hat die Funktion, die Systemkomponenten zu entwickeln und herzustellen, Ballard konzentriert sich auf die Herstellung der Brennstoffzelle und der dritte Komponenten-Partner ist Ecostar, ein ehemaliger Ford-VISTEON-Bereich, die für die Entwicklung des E-Motors zuständig ist.

Die empirische Basis für unsere Aussagen sind Expertengespräche mit dem Leiter der Aggregatforschung bei Volkswagen und mit dem Leiter Produktion und Technologie Brennstoffzelle des Projekthauses Brennstoffzelle von DaimlerChrysler.

## 6.2 Fallstudie Beschäftigungseffekte bei neuen Antriebstechniken - Brennstoffzelle

Der Vergleich eines Brennstoffzellenantriebes mit einem konventionellen Antrieb zeigt, dass durch die Einführung der Brennstoffzellentechnologie zahlreiche konventionelle Antriebskomponenten, also z.B. der Verbrennungsmotor mit allen seinen Komponenten entfallen - andere Komponenten, wie beispielsweise das Kühlsystem und das Getriebe, müssen modifiziert werden. Bei der Karosserie wird aus Platz- und Gewichtsverteilungsgründen eine „Sandwich-Bauweise“ (siehe A-Klasse, A2) erforderlich.

Von Seiten unserer Gesprächspartner wurden die 1997 in einer Studie des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (vgl. ISI 1999) durchgeführten Untersuchungen zu den Auswirkungen des Einsatzes der Brennstoffzelle und der Substitutionsfunktion für den Verbrennungsmotor-Antrieb in Bezug auf Baden-Württemberg als nach wie vor gültig dargestellt - allerdings wird darauf hingewiesen, dass die optimistischen Annahmen heute kaum noch zutreffen und daher mit einem veränderten „phase-in“-Prozess zu rechnen ist (vgl. 6.3).

Auf Basis der A-Klasse wurden die Auswirkungen auf alle Wirtschaftszweige untersucht, um frühzeitig die Zulieferindustrie auf die Zukunft vorzubereiten. Gleichzeitig wurde nach den beschäftigungspolitischen Auswirkungen im Rahmen von drei Szenarien gefragt (vgl. ISI 1999).

- Szenario A: Unter der Voraussetzung das die BZ-Technologie wesentlich in der Bundesrepublik entwickelt und hergestellt wird und es keine größere ausländische Konkurrenz gibt, wird im Zeitraum von 10 - 15 Jahren ein positiver Arbeitsplatzeffekt im Umfang von ca. 1.500 Arbeitsplätzen erwartet.

---

23 Standorte in Kirchheim/Teck-Nabern mit ca. 400 Beschäftigten (Unternehmensstrategie, Marketing und Vertrieb, BZ für Kleintransporter und PKW Europa), Burnaby/CDN mit 92 B. (BZ für Busse weltweit und Kleintransporter Amerika) sowie Poway/CA, USA mit 60 B. (kleine mobile BZ weltweit und PKW Nordamerika und Asien)

Xcellsis beschäftigt am Standort Nabern mittlerweile 400 Mitarbeiter, Ballard hat in Nabern zwischen 40 und 50 Beschäftigte. Für Xcellsis waren die letzten Jahre geprägt von einem dynamischen Wachstumsprozess. Außer den 60 kaufmännischen Beschäftigten und einer Handvoll Beschäftigten in der kleinen Fertigung (Prototypenbau) ist der Rest ingenieurtechnisches Personal/Verfahrenstechniker aller Fachrichtungen. Ein Schwerpunkt liegt im Bereich des elektrotechnischen Know-hows. Bei der Entwicklung des BZ-Antriebs werden hohe Qualifikationen benötigt, da die Steuerung- und Regelungstechnik deutlich komplexer als beim Verbrennungsmotor ist.

- Szenario B: Gibt es im Gegensatz zu Szenario A deutliche ausländische Konkurrenz, gibt es weder positive noch negative Volumeneffekte in Bezug auf die Arbeitsplätze.
- Szenario C: Wird die Technologie nicht in Deutschland entwickelt und hergestellt, sind etwa 800 Arbeitsplätze bedroht.

Der Brennstoffzellenantrieb lässt sich prinzipiell in drei Komplexe zerlegen: die eigentliche Brennstoffzelle (Stack), den Elektromotor sowie die aus verschiedenen Einzelteilen bestehende Peripherie. In der Peripherie ist der problematische Teil der Verdichter, der dem automobilen Einsatz im Rahmen eines BZ-Antriebes noch nicht entspricht.

Entscheidend für die Entwicklung von BZ-Antrieben ist einerseits die Systemsteuerungssoftware sowie das Know-how der Systemarchitektur. Im Gegensatz zum Verbrennungsmotor sind die im BZ-System ablaufenden Prozesse vollständig steuer- und regelbar. Hier ist aus Sicht der Automobilhersteller elektro-chemisches Know-how für den automobilen Einsatz weiter zu entwickeln. Die Steuerungssoftware wird als Differenzierungsmerkmal im Wettbewerb angesehen und daher auch inhouse entwickelt. Entscheidend für die Funktionsfähigkeit und daher aus Sicht der OEMs unverzichtbar ist die Beherrschung der Systemarchitektur und damit letztlich auch die Einbindung von Komponenten aus dem Bereich der unterschiedlichen Zulieferanten.

Bei den Brennstoffzellen-Stacks liegt die technologische Kern-Kompetenz wesentlich in der Herstellung der Graphitplatten und der Schaffung der Kanal-Struktur (Auslegung der Kanäle). Die Herstellungsprozesse sind Druck- und Beschichtungsverfahren vergleichbar. Die Kanäle werden heute mittels Presswerkzeugen (Rotationswerkzeuge) in die Graphitplatten geformt (hier erfolgte z.B. die Ausrüstung von Ballard mit Maschinen, die bei DC entwickelt wurden). Die Außenplatten werden im Druckgussverfahren hergestellt. Es sind durchweg wenig arbeitsintensive Prozesse („... minimale Arbeitsinputs ...“) - arbeitsintensiver ist der letzte Arbeitsschritt, der den Zuschnitt der Zellen sowie die Montage umfasst.

Die Entwicklung der E-Motoren für den BZ-Antrieb stellt eine weitere Herausforderung dar. Im Einsatz befindliche Varianten sind entweder zu leistungsarm oder zu gewichtig. Hier steht der automobiler Einsatz im Vordergrund - entsprechend sind noch langwierige Entwicklungsarbeiten zu leisten (im Verbund Xcellsis übernimmt diese Funktion Ecostar).

Während eine Vielzahl von klassischen Motorzulieferteilen bei der Brennstoffzellen-Technologie entfallen, werden bei anderen Komponenten Chancen für die Zulieferanten eröffnet. Dies betrifft insbesondere den Verdichter (Kompressor<sup>24</sup>), die Kühlsysteme, Ventile, Gasreinigungsprozesse (Entschwefelung), die dem Katalysatorverfahren ähneln, sowie veränderte elektrotechnische Komponenten. Auf der Seite der heutigen Zulieferanten von Komponenten werden sich ebenso veränderte Produktkonzepte ergeben: Lenkung und Bremsen werden durch die Stromversorgung über die BZ elektronisch gesteuert (siehe drive-by-wire), die Klimakomponenten werden einer anderen Energieversorgung unterliegen und u.U. völlig anders gestaltet werden müssen und letztlich sind aufgrund des 42-Volt-Bordnetzes die gesamte elektrische Peripherie (Glühbirnen, Regler, Steuergeräte) neu auszulegen. Vielfach unbeachtet sind die Probleme der veränderten Akustik, da davon auszugehen ist, dass das bis-

---

24 Hier kooperiert Volkswagen z.B. mit einem niedersächsischen Zulieferanten in der Entwicklung eines Kompressors für den Einsatz im Brennstoffzellensystem für den automobilen Einsatz, der einerseits eine ausreichende Leistung erbringt, andererseits aber eine „erträgliche“ Geräuschentwicklung einhält.

herige Motorengeräusch weitestgehend wegfällt und plötzlich bislang unbemerkte Geräuschquellen in den Vordergrund treten.

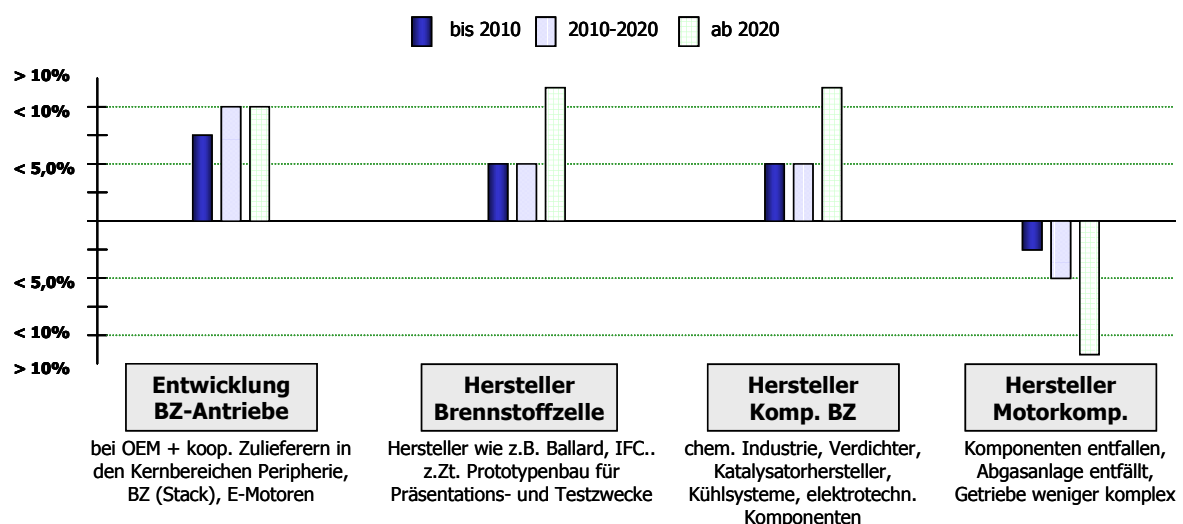
Auf der Beschäftigungsseite (Qualifikationen) werden in diesem Bereich vorwiegend Chemiker, Physiker sowie Verfahrenstechniker benötigt. Während die thermodynamischen Prozesse (Strömungssimulation) von Versuchsingenieuren (Elektriker, Elektroniker) mit vorhergehenden Lernprozessen (umlernen, einarbeiten) beherrschbar sind, fehlen Chemiker und Physiker.

Bedarf besteht vor allem auch im Bereich von Software-Ingenieuren, die einerseits zur (Weiter-)Entwicklung des E-Motors sowie andererseits für die gesamten Abstimmungsprozesse im Hinblick auf das Fahrverhalten gebraucht werden. In diesen gesamten Bereichen werden daher zusätzliche Beschäftigungschancen für die genannten Berufsgruppen gesehen.

Nach Einschätzungen unserer Gesprächspartner zeichnen sich auch im Fertigungsprozess erhebliche Veränderungen ab. Das Brennstoffzellensystem benötigt eine Vielzahl von Rohrleitungssystemen, die die Montageprozesse (ebenso wie die Wartungs- und Reparaturarbeiten) mehr als komplex machen und kaum zu automatisieren sein werden. Darüber hinaus ist zu beachten, dass der Umgang mit wasserstoffhaltigen Modulen zur Zeit hohen Sicherheitsauflagen unterliegt und aufwendig zu dokumentieren ist (jeder einzelne Arbeitsschritt ist zu dokumentieren, was für eine Serienfertigung aus Kostengesichtspunkten undenkbar wäre). Ebenso wird der Umgang mit extrem hohen Strömen in der Fertigungsbereichen in Ausbildungsgänge zu integrieren sein und entsprechende Schutzbestimmungen für die Beschäftigten erfordern.

Die Abschätzung der Beschäftigungsentwicklung hinsichtlich der Einführung des Brennstoffzellenantriebs macht deutlich, dass in allen angenommenen Szenarien die Beschäftigungseffekte bis 2020 eher gering, im positiven wie im negativen, ausfallen.

Abbildung 9: Brennstoffzelle - zu erwartende Beschäftigungseffekte in der Prozesskette



Allerdings zeigen unsere Recherchen, dass in den Entwicklungsbereichen, sowohl bei den Herstellern als auch bei den in die Entwicklung einbezogenen Zulieferfirmen, deutlich positive Beschäftigungseffekte anfallen. Diese dürften bereits jetzt auf dem Niveau des Positiv-Szenarios der ISI-Studie liegen.

Zukünftige Beschäftigungseffekte (ab 2020) hängen eng mit den Projektionen zusammen, die hinsichtlich des zeitlichen Durchbruchs und der Marktreife der Brennstoffzellentechnologie angenommen werden. Angesichts der Zeitperspektive von zwanzig Jahren sowie des phase-in des Substitutionsprozesses sind u.E. heutige Aussagen zu möglichen Beschäftigungseffekten im Hinblick auf die zwar als dramatisch zu nennenden Veränderungen im Bereich des Antriebsstranges noch ohne Substanz. Zu berücksichtigen wäre auch in solchen Abschätzungen, wie sich die Verbrennungsmotortechnologie weiterentwickelt und hier - ebenso wie im Bereich des Leichtbaus - die Innovationskonkurrenz beflügelt.

### 6.3 Diffusion und Zeitperspektiven

In der ISI-Studie wurde hinsichtlich des Einsatzzeitpunktes des Brennstoffzellenantriebs noch mit dem Jahr 2010 gerechnet, ab dem merkliche Anteile (2005 = 10%; 2010 = 25%) des Brennstoffzelleneinsatzes den Verbrennungsmotor als Antrieb substituieren. Diese Erwartungen werden mittlerweile als überholt eingeschätzt.

Aufgrund der Orientierung hin zu Wasserstoff als Kraftstoff rechnen verschiedene Experten mit einem größeren Einsatz der BZ frühestens ab 2010, eher ab 2015 und mit einem Substitutionseffekt von 10 - 25% ab 2020, wenn die Technologie so weit entwickelt ist, dass sie auf dem Kostenniveau des Dieselmotors angelangt ist.

Insgesamt gesehen kann davon ausgegangen werden, dass zwar ab 2005 alle Automobilhersteller BZ-Fahrzeuge im Sinne von Prototypen verfügen werden. Bis zur Lösung der noch offenen technischen Probleme beim Einsatz reinen Wasserstoffs als Kraftstoff wird der aufwendiger Reformerprozess (Reinigung von Synthesegasen) noch notwendig sein und eine „Marktreife“ des Brennstoffzellenantriebs nicht gegeben sein. Des Weiteren dürfte vereinzelt bis 2015/2020 eine größere Stückzahl von Fahrzeugen für Flotteneinsätze und größer angelegte Praxistests eingesetzt werden. Erst ab diesem Zeitpunkt ist mit der Lösung offener technischer Probleme zu rechnen und kann von einem beginnenden Substitutionsprozess ausgegangen werden.

Bemerkenswert ist jedoch aus heutiger Sicht, dass sich für die Brennstoffzelle neben der automobilen Verwendung andere Einsatzmöglichkeiten eröffnen. So wird die Brennstoffzelle für den stationären Einsatz als Energieversorgungsquelle interessant. Im Automobilbau sind Entwicklungstendenzen vorhanden, kleine - batteriegroße - Brennstoffzellen (mit Methanol als Kraftstoff) als mobile Stromerzeuger zu nutzen und damit Nebenaggregate wie Klimaanlage, Servolenkung, aktive Fahrwerke, Kühlung oder Telekommunikation mit Strom zu versorgen. Sowohl im BMW 7er als auch in der S-Klasse ist der Einsatz dieser APUs (Addition Power Unit) vorgesehen - für Frightliner wird heute schon eine APU für die Stromversorgung der Scheibenwischanlage eingesetzt. Sie können gleichzeitig als Stromlieferant für häusliche oder außerhäusliche Anwendungen (z.B. Wochenendhaus/Camping) genutzt werden.

## 7 Schlussfolgerungen

Die Untersuchung der Innovationskonfigurationen im Fahrzeugbau zeigt hinsichtlich der zu erwartenden Innovationsverläufe deutlich die Risiken wie die Chancen für Arbeit und Beschäftigung auf. Deutlich werden aber auch Gestaltungsmöglichkeiten und Ansatzpunkte für rechtzeitiges Handeln. Die Befunde lassen sich zu folgenden Punkten zusammenfassen:

Erstens: In der Gesamtwirkung der Innovationen auf Beschäftigung in den Prozessketten ergeben sich in mittelfristiger Sicht (bis 2010) eher leicht positive Effekte. Dies ist zum Teil auf die Kompensation von negativen Auswirkungen auf bestimmten Prozessstufen durch positive Beschäftigungswirkungen auf anderen Stufen zurückzuführen.

Zweitens: Auf einzelnen Prozessstufen sind allerdings teilweise dramatische Einbrüche hinsichtlich des Beschäftigungsvolumens bzw. radikale Veränderungen im qualifikatorischen Anforderungsprofil zu erwarten. Die Struktureffekte sind deutlich ausgeprägter als Niveaueffekte. Es kommt zu nennenswerten Verlagerungen innerhalb der Prozessketten.

Drittens: Die untersuchten Innovationen zeichnen sich in kurz- und mittelfristiger Perspektive durch flache, langsame Diffusionsverläufe aus. In allen vier Fällen ist mit einem Durchbruch dieser Innovationen in die Volumenproduktion vor 2010 nicht zu rechnen. Angesichts des für die Automobilindustrie typischen Innovationsverlaufs bei Produktinnovationen – Innovationen werden zunächst in bestimmten Fahrzeugklassen eingesetzt und erfassen erst sukzessive das Fahrzeugspektrum der Unternehmen insgesamt – sind keine abrupten Veränderungen zu erwarten. Eine wichtige Konsequenz dieser flachen Diffusionsverläufe ist die Chance für absehbar betroffene Unternehmen, Betriebsteile, Arbeitsplätze, sich auf die zukünftigen Veränderungen einzustellen. Auch „Durchbruchinnovationen“ erscheinen unter diesem Gesichtspunkt als plan- und gestaltbar.

Viertens: Charakteristisch für die betrachteten Schlüsselinnovationen ist es, dass sie sich im Wettbewerb mit anderen Lösungen durchsetzen müssen. Es kommt zu einer Konkurrenz alternativer Innovationsansätze. Zumindest in zwei wichtigen Innovationsfeldern (Leichtbau, Antriebssysteme) lässt sich gegenwärtig ein scharfer Wettlauf in diesem Sinne feststellen, der zu einem Aufbau von Kapazitäten insbesondere auch in den Bereichen der Forschung und Entwicklung und des Prototypenbaus (also auch kleinerer und mittlerer Produktions- und Dienstleistungsfirmen) führt. Aus dieser Innovationskonkurrenz ergeben sich bis zu dem Zeitpunkt, an dem sich ein bestimmter Ansatz durchsetzt, wenn dies überhaupt der Fall ist, positive Beschäftigungseffekte.

Fünftens: Es sind teilweise erhebliche Veränderungen in den Qualifikationsanforderungen und -strukturen sowie in den Kompetenzentwicklungen der Unternehmen erforderlich. In den Entwicklungsbereichen ist dies neben Anforderungen nach Spezialisten im Bereich Werkstoffkunde insbesondere der verstärkte Bedarf an Softwareingenieuren und Elektronikern. Viele klassische Fertigungsbetriebe der Metallverarbeitung benötigen Zusatzqualifikationen für Elektronik und damit Hybridqualifikationen im Bereich der Mechatronik. Konzepte lebenslangen Lernens und die Entwicklung von Gesamtstrategien sind in diesem Zusammenhang notwendig.

Sechstens: Innovationsverläufe in den untersuchten Innovationsfelder werden in erheblichem Maße durch Regulierungen gefördert (wie auch blockiert). Hier gibt es unausgeschöpfte Handlungsmöglichkeiten auf staatlicher und verbandlicher Ebene (Kontrollen im Recyclingbereich, Standardisierungsaktivitäten etc.).

Siebtens: In zunehmendem Maße werden Innovationen am Endprodukt (wie oben exemplarisch das Automobil) abhängig von Voraussetzungs- und Folgeinnovationen bei Hard- und Softwareherstellern von IuK-Techniken sowie von Mobilitätsdienstleistern, die selbst ggf. das Automobil nur als einen Teil intermodaler Mobilitätssysteme betrachten. Das Innovationsgeschehen im Kerngeschäft der Automobilentwicklung wird so Teil einer auch über politische Regulierung zu optimierenden Organisation gesellschaftlicher Mobilitätsprozesse. Ein wichti-

ger Bereich mit Innovations- und Beschäftigungspotentialen ist wie der Umweltschutz damit auch der Bereich der Mobilitätsdienstleistungen.

Wichtige Rahmenbedingung, um die Chancen, die die Innovation für Beschäftigung mit sich bringen, zu nutzen, so zeigt sich im Hinblick auf die Innovationskonfigurationen insgesamt, ist die Schaffung von Innovationsanreizen durch langfristige verbindliche Zielvorgaben (Normen/Standards) bei ausreichenden Kontrollen, ein systematisches Innovationsmonitoring für Innovationen mit zu erwartenden komplexen Wirkungsmechanismen, die systematische Begleitung und Gestaltung flacher Diffusionsverläufe sowie weitere Förderung der Software-Entwicklung.

Neben Infrastrukturinvestitionen, Investitionen in Bildung und Forschung, ist insbesondere die Förderung der Nutzung und Verbreitung von IuK-Techniken entscheidend für die Beschleunigung des Strukturwandels und die Förderung von Innovationen, wobei dem Staat eine wichtige Rolle als „Innovationsbeschleuniger“ (innovative Beschaffungen, Leitanwendungen) zukommt.

## Schlussbemerkung

In einem - unter den gegebenen Rahmenbedingungen - notwendigen kleinen Ausschnitt haben wir uns den vier Innovationsfeldern, den dort erkennbaren Entwicklungsperspektiven sowie den erwarteten Auswirkungen auf die Beschäftigung angenähert. Wir haben, mit Blick auf die jeweilige Prozesskette, den Blick für die komplexen Zusammenhänge und die unterschiedlichen Wirkungsebenen geöffnet.

Deutlich herausgearbeitet wurde, dass es sich in allen Innovationsfeldern eher um evolutionäre, denn revolutionäre Entwicklungsprozesse handelt, die aber in der mittel- bis längerfristigen Betrachtung zum Teil erhebliche Veränderungen im Hinblick auf Beschäftigungsintensität wie auch insbesondere im Hinblick auf qualifikatorische Erfordernisse mit sich bringen. Dieser evolutionäre Charakter der Veränderung eröffnet die Möglichkeit, in den hier ange-deuteten Feldern vorausschauend Politik zu gestalten.

Durch eine Projektfinanzierung haben wir ab Beginn des Jahres 2002 die Gelegenheit, den hier dargestellten Forschungsansatz in diesen spannenden Innovationsprozessen und in dem, für die bundesdeutsche Wirtschaft wesentlichen Wirtschaftskomplex weiter zu verfolgen.



## 8 Literaturverzeichnis

- (Ohne Verfasser) (1998): Eine „Revolution der Roboter“ hat nicht stattgefunden, Beiträge von Rolf D. Schaft (Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart und Manfred Bartl, Leiter des Bereichs Produktionsplanung, Volkswagen AG, Wolfsburg, in: Computerwoche Nr. 32 vom 07.08.1987 (internet-Quelle).
- Alemann, U. von/Jansen, P./Kilper, H./Kißler, L. (1988): Technologiepolitik. Grundlagen und Perspektiven in der Bundesrepublik Deutschland und in Frankreich, Frankfurt/New York.
- ARGE Altauto (2000): 1. Monitoringbericht gemäß Punkt 3.6 der Freiwilligen Selbstverpflichtung zur umweltgerechten Entsorgung von Altfahrzeugen (Pkw) im Rahmen des Kreislaufwirtschafts-/Abfallgesetzes (der Bundesregierung am 31.03.2000 vorgelegt), Frankfurt/M.
- Automobil Entwicklung/Automobil Produktion (diverse Ausgaben 1998 bis 2000)
- Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) (2000), Sonderausgabe: Der neue AUDI A2, März
- Beller, H.A./Rieth, P.E. (2000): Mit Total Chassis Management auf dem Weg zum intelligenten Fahrwerk, Vortrag auf dem XX. µ-Symposium am 27. Oktober 2000 in Bad Neuenahr
- Blechinger, D./Kleinknecht, A./Licht, G./Pfeiffer, F. (1979): The Impact of Innovation on Employment in Europe – An Analysis using CIS Data. European Innovation Monitoring System (EIMS), Report for the European Commission, Mannheim.
- Blechinger, D./Pfeiffer, F. (1999): Qualifikation, Beschäftigung und technischer Fortschritt. Empirische Evidenz mit Daten des Mannheimer Innovationspanels, in: Jahrbücher für Nationalökonomie, S. 128 – 146.
- Briefs, U./Fehrmann, E./Hickel, R. u.a. (1984): Technologische Arbeitslosigkeit, Hamburg.
- Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bundesministerium für Wirtschaft (Hg.) (1999): Aktionsprogramm der Bundesregierung: Innovation und Arbeitsplätze in der Informationsgesellschaft des 21. Jahrhunderts (internet).
- Europäische Kommission (1994): Wachstum, Wettbewerbsfähigkeit, Beschäftigung. Herausforderungen der Gegenwart und Wege ins 21. Jahrhundert, Weißbuch, Brüssel, Luxemburg.
- Europäische Kommission (1995): Grünbuch zur Innovation, Vorentwurf Dezember 1995 last-up-date: 28-feb-01.
- Flichy, P. (1995): L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales – vers une nouvelle théorie de l'innovation, Paris.
- Friedrich, H. (1992): Arbeitslosigkeit – ein Dauerproblem im vereinten Deutschland? Dimensionen, Ursachen, Strategien, Opladen 1992.
- Friedrich, H. (2000): Leichtbau – die nächste Generation, in: Tagungsband der Zeitschriften Automobilproduktion und Automobilentwicklung: Neue Strategien – Neue Technologien. Von Simultaneous Engineering bis Virtual Reality, Stuttgart 28/29. 11. 2000
- Gergely, S. M. (3. Aufl. 1985): Mikroelektronik. Computer, Roboter und Neue Medien erobern die Welt, München.
- Hauschild, J./Schlaak, T. M. (1999): Zur Messung des Innovationsgrades neuartiger Produkte, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 71. Jg. Heft 2, S. 161 – 182.
- Hickel, R. (1984): Ursachen, Prognose und Therapie der Arbeitsplatzvernichtung, in: Briefs u.a. (Hg.); 51-94.
- Holzauer, R. (1999): Infrastruktur zur Annahme und Verwertung von Pkw in Deutschland zu Verwertungsbetrieben (Interessengemeinschaft der Deutschen Autoverwerter), Referat anlässlich einer Tagung der ARGE Altauto zur Zwischenbilanz (Quelle: www.arge-altauto.de)
- ifo (1997): Sind Innovationen beschäftigungswirksam? In: ifo-Schnelldienst 17-18, S. 21-26
- ISI - Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) 1999: Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle, Karlsruhe

- Kern, H./Schumann, M. (1984): Das Ende der Arbeitsteilung? Rationalisierung in der industriellen Produktion, München.
- Kohl, Heribert/Schütt, Bernd (Hg.) (1984): Neue Technologien und Arbeitswelt. Was erwartet die Arbeitnehmer? Köln.
- Lehner, F./Baethge, M./Kühl, J./Stille, F. (Hg.) (1998): Beschäftigung durch Innovation – eine Literaturstudie, München – Mering.
- Lehner, F./Baethge, M./Kühl, J./Stille, F. (Hg.) (1998): Beschäftigung durch Innovation: Perspektiven und Ansätze für eine strukturelle Erneuerung von Wirtschaft und Arbeit in Deutschland, in: Lehner u.a. (Hg.) S. 463 – 494.
- Lehner, F./Nordhaus-Janz: Beschäftigung und Innovation: Strategische Optionen im globalen Strukturwandel
- Mayer, H.-J. (1999): Zukunftssicherung durch Technologiewandel, Präsentation auf dem Automobil Forum Juni 1999, Stuttgart (Internet: [www.radermacher.de](http://www.radermacher.de))
- Meyer-Krahmer, F. (1993): Innovationsökonomie und Technologiepolitik. Forschungsansätze und politische Konsequenzen, Heidelberg.
- Muster, M. (1984): Montageautomation: Taktzeit Null für 200 000? In: Kohl/Schütt (Hg.); 161 – 170.
- OECD Report (1981): Die Zukunftschancen der Industrienationen (Technical Change and Economic Policy), Frankfurt/New York.
- Rieth, P.E. (1999-1): Brake by Wire - Bremsentechnologie im Wandel, Vortrag auf dem Fahreug- und Motortechnischen Seminar der Technischen Universität Darmstadt, 11.02.1999
- Rieth, P.E. (1999-2): Technologie im Wandel - X-by-Wire; Vortrag auf der Fachkonferenz „Neue Elektronikkonzepte in der Automobilindustrie“, Stuttgart, April und Juni 1999
- Rosenthal, F. (1995): Forschungs-, Wettbewerbs- und Beschäftigungspotentiale innovativer Branchen. Das Beispiel Luft- und Raumfahrtindustrie, in WSI-Mitteilungen 1/1995 S. 40 – 48.
- Schlüter, V./Gackstatter, S./Braun, M. (1998): Beschäftigungseffekte von Innovationen in der deutschen chemischen Industrie. Endbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft, Arthur D. Little, Wiesbaden
- Schneider, R. (1984): Industrieroboter: Maschinen verdrängen Menschen, in: Kohl/Schütt (Hg.), S. 141 –152.
- Senatsverwaltung für Arbeit, Berufliche Bildung und Frauen (Hg.) (1998): Berliner Memorandum Innovation, Beschäftigung, Wachstum und Wettbewerb. Strategien zur Halbierung der Arbeitslosigkeit, Berlin.
- Smolny, W./Schneeweis, T. (1999): Innovation, Wachstum und Beschäftigung. Eine Untersuchung auf der Basis des ifo Unternehmenspanels, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, S. 453 – 472.
- Stille, F./Blitzer, J. (1998): Beschäftigungswirkungen von Innovationen: Analysen zu einem komplizierten Verhältnis, in Lehner u.a. (1998), S. 15 – 58.
- VDA (2000): Auto 2000 - Jahresbericht des Verbandes der Automobilindustrie, Frankfurt/M. (pdf-Datei/Internet)
- von Flotow, P./Steger, U. (Hrsg.) (2000): Die Brennstoffzelle - Ende des Verbrennungsmotors?, Bern, Stuttgart, Wien
- Vorstand der SPD (Hg.): (1979): 1. Forum „Arbeit und Technik“, 1./2. Februar 1979 in Essen, Bonn.
- Wallentowitz, H./Wallau, F./Dittmann, R. (1996): Altautorecycling - Beiträge zur Optimierung von Stoffkreisläufen, Institut für Kraftfahrwesen der RWTH Aachen (Internet)
- ZF Lenksysteme (2000): Steer by Wire für Pkw, Schwäbisch Gmünd, November 2000
- ZEW (2000): Branchenreport Innovation, Jg. 7, No. 3, Sept. 2000

Veröffentlichungsreihe der Abteilung **Regulierung von Arbeit**  
des Forschungsschwerpunkts Technik-Arbeit-Umwelt des  
Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung

1998

- FS II 98-201 Frieder Naschold:** Ökonomische Leistungsfähigkeit und institutionelle Innovation – Das deutsche Produktionsregime im internationalen Regimewettbewerb, 56 S.
- FS II 98-202 Jochen Lang, Frieder Naschold, Bernd Reissert:** Reforming the implementation of European Structural Funds. A next development step, 60 S.
- FS II 98-203 Karin Hirschfeld:** Auf verschlungenen Pfaden zum High-Tech-Produkt: Das Digitalfunkkonsortium – eine strategische Allianz und ihre Folgen, 56 S.
- FS II 98-204 Gerd Bender:** Entstandardisierte Formen der Entgeltbestimmung - Neuere Entwicklungen bei der Leistungsvergütung und der Personalbeurteilung. 41 S.
- FS II 98-205 Frieder Naschold, Christoph Reichard, Manfred Röber, Alexander Wegener (Hg.):** „Verwaltungsreform auf Ministerialebene“ – Dokumentation zur Fachtagung am 9. Juni 1998 am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung. 90 S.
- FS II 98-206 Maria Oppen, Alexander Wegener:** Restrukturierung der kommunalen Dienstleistungsproduktion – Innovationsfähigkeit deutscher Kommunen in internationaler Perspektive. 36 S.
- FS II 98-207 Maria Oppen, Elke Wiechmann:** Frauenförderpläne unter Reformdruck – Effektivität und Innovationserfordernisse am Beispiel der niedersächsischen Stufenpläne. 70 S.
- FS II 98-208 Hermann Hibbeler:** „Markttest“ öffentlicher Dienstleistungen. Einführung von Wettbewerb durch flächendeckende Angebotsbeziehung – Konzept des Personalrates Stadt Detmold. 35 S.
- FS II 98-209 Stephan Seip:** Netzbildung im globalen Wettbewerb. Transnationalisierung und Standardisierung im Telekommunikationssektor. 76 S.

1999

- FS II 99-201 Gerlinde Dörr, Tanja Kessel:** Restructuring via Internationalization. The Auto Industry's Direct Investment Projects in Eastern Central Europe. 24 S.
- FS II 99-202 Helmut Drüke:** Regulierungssysteme in der internationalen Telekommunikation, 55 S.
- FS II 99-203 Gerlinde Dörr, Tanja Kessel:** Mehr als ein Nullsummenspiel? Die neue Standortkonkurrenz zwischen Ost und West. More Than a Zero Sum Game? The New Locational Competition Between East and West. Zweisprachig, 19 S.

**FS II 99-204 Frieder Naschold, Ulrich Jürgens, Inge Lippert, Leo Rennecke:** Vom chandlerianischen Unternehmensmodell zum Wintelismus, 26 S.

2000

**FS II 00-201 Volker Hielscher:** Entgrenzung von Arbeit und Leben? Die Flexibilisierung von Arbeitszeiten und ihre Folgewirkungen für die Beschäftigten. Eine Literaturstudie, 64 S.

**FS II 00-202 Ulrich Jürgens, Joachim Rupp, Katrin Vitols, unter Mitarbeit von Bärbel Jäschke-Werthmann:** Corporate Governance and Shareholder Value in Deutschland – Nach dem Fall von Mannesmann – Paper revisited (Ulrich Jürgens), 34 S.

**FS II 00-203** Die Abteilung „Regulierung von Arbeit“ – Aktuelle Projekte und Veröffentlichungen 1988 bis 2000, 65 S.

2001

**FS II 01-201 Holger Straßheim:** Der Ruf der Sirenen – Zur Dynamik politischen Benchmarkings. Eine Analyse anhand der US-Sozialreformen, 27 S.

**FS II 01-202 Hengyi Feng, Julie Froud, Sukhdev Johal, Colin Haslam, Karel Williams:** A New Business Model?, 36 S.

**FS II 01-203 Gerlinde Dörr, Tanja Kessel:** Kooperation und Asymmetrie. Das Entwicklungsprofil eines betrieblichen Ost-West-Projekts, 54 S.

**FS II 01-204 Christoph Scherrer:** New Economy: Explosive Growth Driven by a Productivity Revolution?, 19 S.

**FS II 01-205 Christoph Scherrer:** Jenseits von Pfadabhängigkeit und „natürlicher Auslese“: Institutionentransfer aus diskursanalytischer Perspektive, 26 S.

2002

**FS II 02-201 Gerlinde Dörr, Tanja Kessel:** Cooperation and Asymmetry. The Development Profile of an East-West Corporate Project, 41 S.

Bei Ihren Bestellungen von WZB-Papers schicken Sie, bitte, unbedingt einen an Sie adressierten **Aufkleber** mit, sowie **je Paper eine Briefmarke im Wert von € 0,56** oder einen **"Coupon Réponse International"** (für Besteller aus dem Ausland).

Please send a **self-addressed label and postage stamps in the amount of € 0,56** or a **"Coupon-Réponse International"** (if you are ordering from outside Germany) for each WZB-Paper requested.

### **Bestellschein**

### **Order Form**

*Paßt im Fensterumschlag! • Designed for window envelope!*

An das  
Wissenschaftszentrum Berlin  
für Sozialforschung gGmbH  
**PRESSE- UND INFORMATIONSREFERAT**  
Reichpietschufer 50  
**D-10785 Berlin**

**Absender • Return Address:**

---

---

---

---

*Hiermit bestelle ich folgende(s) Discussion Paper(s) • Please send me the following Discussion Paper(s)*

<b>Autor(en) / Kurztitel • Author(s) / Title(s) in brief</b>	<b>Bestellnummer • Order no.</b>

