

Heinz-Rudolf Meißner<sup>1</sup>

## Produktentwicklung und Innovationen in der Automobilindustrie

Diskussionspapier für die IG Metall Betriebsrätekonferenz  
(25./26. März 2009)

### Inhalt

1	Innovationsdynamik in der Automobilindustrie .....	1
1.1	Industrielle Bedeutung der Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie ..	1
1.2	Innovationsarten .....	3
2	Entwicklung der Produktinnovationen .....	3
2.1	Antriebskonzepte .....	5
2.2	Aktive Fahrzeugsicherheit .....	9
2.3	Weitere Innovationsfelder .....	9
3	Veränderung der Arbeitsteilung in den Prozessketten .....	10
4	Fazit.....	11
5	Literatur .....	12

---

<sup>1</sup> Wissenschaftlicher Mitarbeiter der FAST - Forschungsgemeinschaft für Außenwirtschaft, Struktur- und Technologiepolitik e.V., Berlin sowie am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH, Berlin, Forschungsgruppe: Wissen, Produktionssysteme und Arbeit

Der Autor bedankt sich bei Ulrich Jürgens, Lutz Marz und Antje Blöcker für die kritische Durchsicht und die fruchtbaren Anregungen zu diesem Text.

# 1 Innovationsdynamik in der Automobilindustrie

Über die letzten anderthalb Jahrzehnte waren die europäische und insbesondere auch die deutsche Automobilindustrie darin erfolgreich, sich mit Modelloffensiven und verstärkten Innovationsanstrengungen einen Vorsprung im globalen Wettbewerb zu verschaffen.<sup>2</sup> Innovativität ist nach Einschätzung der EU-Kommission (CARS21 2008) wie auch des VDA (2008) insbesondere seit Beginn dieses Jahrzehnts und angesichts der aktuellen Krisentendenzen für die Akteure der Branche die zentrale Herausforderung, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Der positive Zusammenhang von Innovationsaktivitäten und Wettbewerbsfähigkeit wurde für die deutschen Automobilzulieferer im Rahmen einer schriftlichen Befragung Ende des Jahre 2007 herausgestellt (Roth 2009): Etwa ein Drittel der befragten Zulieferunternehmen kann als erfolgreiche Innovatoren eingestuft werden. Diese Unternehmen haben einen höheren Umsatzanteil mit innovativen Produkten, gute Renditen und eine gute Finanzierungsgrundlage für weitere Innovationsstrategien. Sie praktizieren einen ganzheitlichen Innovationsansatz, der über Produktstrategien hinaus geht. Mit innovativen Geschäftsmodellen und einem systematischen Innovationsmanagement können sie die verfügbaren Ressourcen für ihre Innovationsstrategien mobilisieren.

Seit Mitte der 1990er Jahre ist unter anderen aufgrund der Verkürzung der Modellzyklen, der Ausdifferenzierung der Produktpalette, der Elektronisierung der Fahrzeuge eine anhaltende Innovationsdynamik in der europäischen Automobilindustrie festzustellen. Der Aufwand für Forschung und Entwicklung im Fahrzeugbau ist in den letzten 15 Jahren deutlich gestiegen und hat - wie z.B. in Deutschland - einen dominanten Anteil von mehr als einem Drittel an der industriellen Forschung und Entwicklung (Jürgens/Meißner 2005: 19 ff.).

## 1.1 Industrielle Bedeutung der Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie

Der FuE-Aufwand in den OECD-Ländern betrug im Jahr 2006 570 Mrd. US-\$. Im Jahr 2004 entfiel auf den Fahrzeugbau ein Anteil von 11,8% aller FuE-Aufwendungen in der OECD. Knapp 80% der FuE-Ausgaben im Fahrzeugbau entfielen in diesem Jahr auf die drei Länder USA (28,6%), Deutschland (24,5%) und Japan (23,3%). (Legler u.a. 2007). In Deutschland lag der Anteil des Fahrzeugbaus an den gesamten industriellen FuE-Aufwendungen in den Jahren 2006 und 2007 bei über einem Drittel (34,8%), im Jahr 2008 bei 37,1% (Stifterverband 2008).

Etwas niedriger als der Anteil an den industriellen FuE-Aufwendungen ist der Anteil der Automobilindustrie an den industriellen FuE-Beschäftigten in der Bundesrepublik. Dieser Anteil ist jedoch seit Ende der 1990er Jahre von 20,9% auf 30,7% im Jahr 2007 gestiegen. Absolut

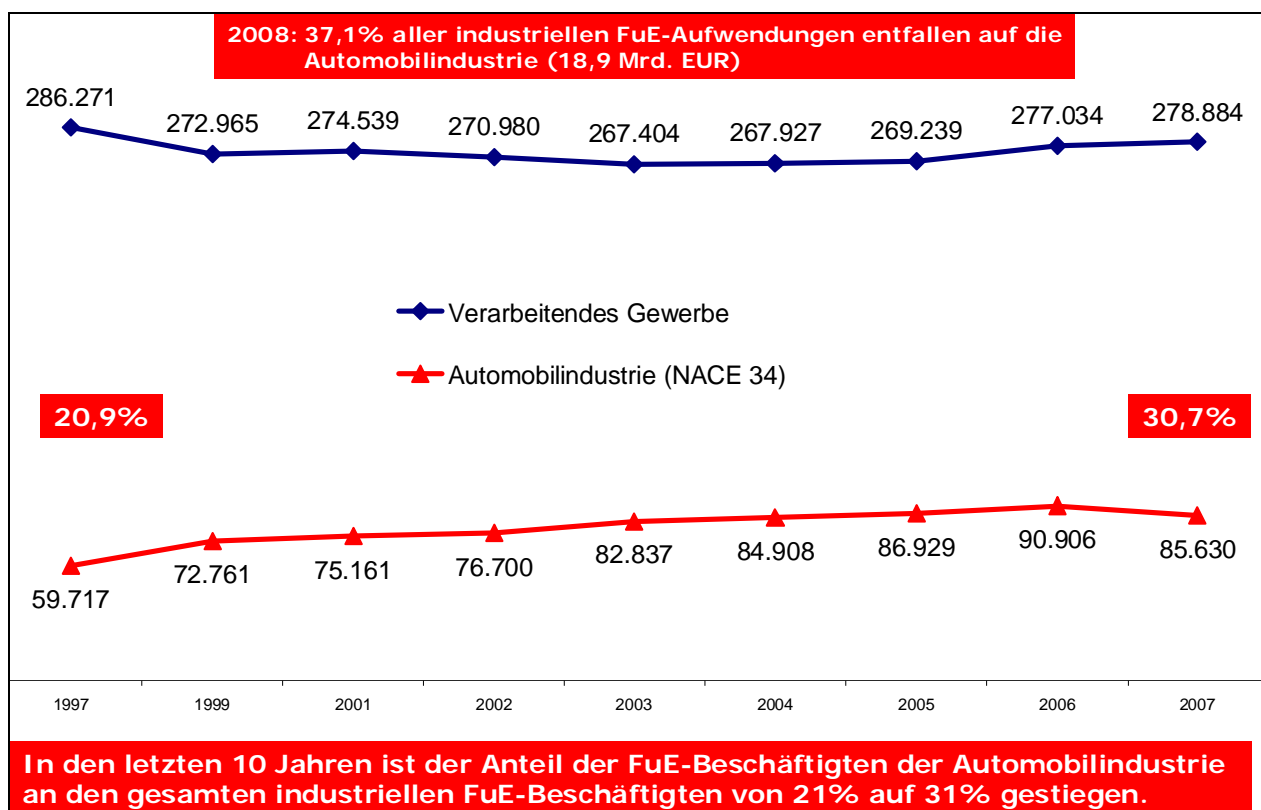
---

<sup>2</sup> Die japanischen Hersteller traten bei Produktinnovationen kaum hervor, sondern setzten auf standardisierte Produkte zu günstigen Preisen. Erst in den letzten Jahren haben sie in bestimmten Bereichen eine Führungsrolle übernommen - insbesondere bei Hybridantrieben (Jürgens/Sablowski 2008: 105).

waren im Jahr 2007 85.630 Beschäftigte in den FuE-Bereichen der deutschen Automobilindustrie tätig (Stifterverband 2008).

In einer etwas anderen Betrachtungsweise wird die Innovationsintensität des deutschen Fahrzeugbaus noch deutlicher: Das Mannheimer Innovationspanel weist für das Jahr 2007 Innovationsaufwendungen in Höhe von 29,7 Mrd. Euro aus - dies entspricht einer Innovationsintensität oder einem Anteil am Umsatz in Höhe von 7,7%. Im Jahr 2000 betragen die vergleichbaren Innovationsaufwendungen 16,5 Mrd. Euro, die Innovationsintensität lag bei 6,2% (ZEW/ISI 2008).

Abb. 1: Entwicklung der FuE-Beschäftigten (Vollzeitäquivalente) im deutschen Fahrzeugbau im Vergleich zum Verarbeitenden Gewerbe (1997 bis 2007)



Quelle: Stifterverband (FuE-Info versch. Jahrgänge, zuletzt 12/2008)

Allen diesen Perspektiven liegt allerdings die Statistik nach der Wirtschaftszweigsystematik zugrunde, die weder die Vorleistungsverflechtung von Branchen noch die sog. after-sales-Bereiche berücksichtigt. D.h. ein Großteil von Zulieferungen an die Automobilindustrie (statistisch erfasst in den beiden Wirtschaftszweigen NACE 34.1 und 34.3) wird in anderen Branchen wie Maschinenbau, Chemie- und Kunststoffindustrie u.v.a.m. erfasst. Insofern wird die tatsächliche Bedeutung der Automobilindustrie untererfasst - beschäftigungspolitisch ist auf Basis einer Input-Output-Verflechtungsanalyse davon auszugehen, dass die tatsächliche Bedeutung etwa um den Faktor 2,4 höher ist, d.h. die Automobilindustrie beschäftigte in Deutschland nicht die statistisch erfassten 767.097 sondern unter Berücksichtigung der Verflechtungsstrukturen 1,8 Mio. Personen (Jürgens/Meißner 2005: 54 ff.).

## 1.2 Innovationsarten

Innovationen im Fahrzeugbau beziehen sich auf unterschiedliche Arten von Innovationen: Produkt-, Prozess-, organisatorische und soziale Innovationen. Sowohl in der wissenschaftlichen Innovationsforschung wie auch in Studien von Consultants zum Innovationsgeschehen im Fahrzeugbau stehen die Produktinnovationen seit Ende der 1990er Jahre regelmäßig im Vordergrund und überdecken die anderen Innovationsarten, die mit diesen Produktinnovationen häufig verbunden sind. Während es bei prozesstechnischen Innovationen zumeist um Verfahren wie z.B. die Flexibilisierung der Produktionsanlagen oder Laserschweißen geht, stehen bei den organisationalen Innovationen z.B. logistische Optimierungsprozesse, neue Logistikkonzepte oder die Ausgestaltung der Schnittstelle zwischen den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Automobilunternehmen und den Hochschulen im Fokus. Soziale Innovationen richten sich auf Netzwerke zur Problemlösung z.B. in der Berufsausbildung oder Seminare zu betrieblichen Innovationen, bei denen betriebliche und universitäre Akteure zusammengebracht werden.

Innovationen verändern jedoch nicht nur das Produkt, sondern auch die Arbeits- und Fertigungsprozesse, sie verändern die Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten und sie verändern Verfahren und Produktionstechnologien und zeitigen damit Wirkungen, denen kaum Aufmerksamkeit zuteil wird. Trotz dieser Einschränkung bei der Wahrnehmung wird im Folgenden vor allem auf die Produktinnovationen eingegangen, da die Themenstellung für dieses Papier vorgegeben wurde und zudem nur begrenzter Raum verfügbar ist.

## 2 Entwicklung der Produktinnovationen

Mit Blick auf das Innovationsgeschehen der zurückliegenden Jahrzehnte wird deutlich, dass der Fahrzeugbau eine Vielzahl von Innovationen in die Produkte gebracht hat. Standen in den 1960er und Anfang der 1970er Jahren die Dämmung der Innengeräusche und Komfort sowie Sicherheitsaspekte beim Frontaufprall im Vordergrund der Produktinnovationen, so waren es im Verlauf der 1970er sowie in den 1980er Jahre vor allem Kraftstoffverbrauch und Leistung der Verbrennungsmotoren (z.B. Dieselmotoren). Mit dem Antiblockiersystem (ABS) wurde das erste elektronisch unterstützte Bremssystem Ende der 1970er Jahre eingeführt. Die Weiterentwicklung zum Elektronischen Stabilisierungsprogramm (ESP) dauerte über ein Jahrzehnt - ESP wurde 1995 in den Markt eingeführt und es folgte zwei Jahre später eine schnelle Marktdurchdringung von der Ober- in die Mittelklasse.<sup>3</sup>

In den 1990er Jahren beschleunigte sich nicht zuletzt durch eine zunehmende Regulierung bei Emissionswerten (Euro-Abgasnormen) sowie Sicherheitsaspekten die Innovationsdynamik, in deren Fokus Sicherheit (Airbag-Einführung), Verbrauchsreduzierung durch Optimierung der Verbrennungsmotoren und Leichtbau sowie die Information und Kommunikation im Fahrzeug standen.

Seit Beginn der 2000er Jahre stehen nahezu alle Produktinnovationen im Zusammenhang mit der Mikrosystemtechnik und der Elektronisierung des Fahrzeugs. Elektronik ist seit diesem Zeitpunkt und für die nächsten Jahre die zentrale Querschnittstechnologie, auf der der überwiegende Teil der Produktinnovationen im Fahrzeugbau basieren wird.

---

<sup>3</sup> 1997 Einsatz in der A-Klasse (Daimler); Ausstattungsrate in Europa 2007 = 42%

Die Möglichkeiten, die die Elektronik bietet, verleihen den anstehenden Produktinnovationen auch - verglichen mit früheren technologischen Veränderungen - einen völlig anderen Charakter. Als wesentliche Herausforderung wird die Verknüpfung und Integration der Vielzahl von Elektronikkomponenten gesehen, die wiederum Softwareentwicklung zur entscheidenden Kompetenz macht.

„Bisher wurden lediglich vorhandene Module und Prozesse immer weiter optimiert – die kommenden Innovationen dagegen revolutionieren ganze Systeme. ... die Entwickler an der Schnittstelle von Elektronik und Feinmechanik müssen Experten im neuen Fachgebiet Mechatronik sein. Künftige Entwickler benötigen umfassende Programmierkenntnisse, um maßgeschneiderte Software zur Fahrzeugsteuerung und zur Individualisierung des Fahrverhaltens schreiben zu können.“ (McKinsey/PTW 2003: 42 f.)

Die Innovations-Planungen für Kompaktklassefahrzeuge in Europa betrachten die vier Segmente Ausstattung, Antrieb, Fahrwerk und Karosserie (McKinsey/PTW 2003):

- Im Bereich der Ausstattung sind dies z.B. die externe Vernetzung des Fahrzeugs (Car-Infotainment/Navigation/Verkehrsbeeinflussung), optische Bussysteme, Sitzsteuerung oder LED-Scheinwerfer.
- Beim Antrieb wurden der Starter-Generator als erster Schritt zum Hybridantrieb, variabler Ventiltrieb sowie das Doppelkupplungsgetriebe als kurzfristig und mittlerweile verfügbare Innovationen ausgemacht sowie langfristig Hybridantriebe und (ab 2020) die Brennstoffzelle als Antriebsaggregat, die den klassischen Verbrennungsmotor vollständig ersetzen könnte.
- Im Bereich des Fahrwerkes laufen die Entwicklungstrends in den Bereichen Bremsen, Lenkung und Dämpfung über Zwischenschritte auf die rein elektronisch gesteuerten Varianten der Komponenten (als x-by-wire Systeme) ab dem Jahr 2015 hinaus.
- Werkstoffe wie Aluminium, Verbundwerkstoffe, Metallschäume sowie Verfahren wie Hydroforming oder Laserschweißen kennzeichnen die Innovationsplanungen im Bereich der Karosserie.

Diese Innovationsperspektive der HAWK-Studie aus dem Jahr 2003 hat auch im Jahr 2009 weitgehend ihre Gültigkeit, wenn auch in den einzelnen Feldern neuere Entwicklungen hinzu gekommen sind und andere Innovationen sich früher als erwartet in den Fahrzeugen wiederfinden.<sup>4</sup> Zu erweitern ist diese Perspektive mittlerweile jedoch um Ansätze der variablen Innenraumgestaltung oder die Integration von gesundheits- und altersgerechten Lösungen.

Angesichts des hohen Aufwandes an Forschung und Entwicklung sowie der Kosten, die über die Preise an die Endabnehmer weiter zu geben sind, stehen diesen „Technikvisionen“, die bis zum „automatischen Fahren“ reichen, als übertriebene Technikfixierung in der Kritik (Kurek 2004: 82). Gefordert wird ein neues Innovationsparadigma, das stärker den Kundennutzen und weniger die technische Machbarkeit zum Leitbild nimmt - ein Leitbild, das die gesellschaftliche und ökologische Perspektive der Fahrzeugnutzung mit in die Betrachtung einbezieht.

---

<sup>4</sup> Früher als erwartet wurden vor allem Starter-Generator, elektromechanischer Ventiltrieb sowie Doppelkupplungsgetriebe in den Markt eingeführt.

Die systematische Trennung der Innovationsentwicklung nach den o.g. Fahrzeugsegmenten lässt sich in der realen Forschungs- und Entwicklungsarbeit kaum trennen, da Innovationsentwicklungen zumeist komplex sind und mehrere Segmente betreffen. Sie werden in den folgenden Abschnitten in zwei zentralen Aspekten gebündelt: Antriebskonzepte und Systeme der aktiven Sicherheit.

Im Zentrum der Innovationsdebatte der Automobilindustrie steht nach wie vor die regulierungsbedingte Senkung von Emissionswerten (CO<sub>2</sub>-Regulierung der EU), die durch weitere innermotorische Optimierungen der Verbrennungsmotoren (Diesel- und Benzinmotoren), durch alternative Antriebstechnologien (insbesondere Hybridkonzepte bislang vor allem bezogen auf Japan und Nordamerika, Einsatz des Startergenerators als sog. mild hybrid sowie die Elektrifizierung des Antriebsstrangs) aber auch durch Strategien zur Verringerung des Gewichts durch Einsatz von neuen Werkstoffen (Aluminium, Kunststoff, Magnesium, Kohlefaser) erreicht werden sollen (siehe hierzu weiter im Abschnitt 2.1).

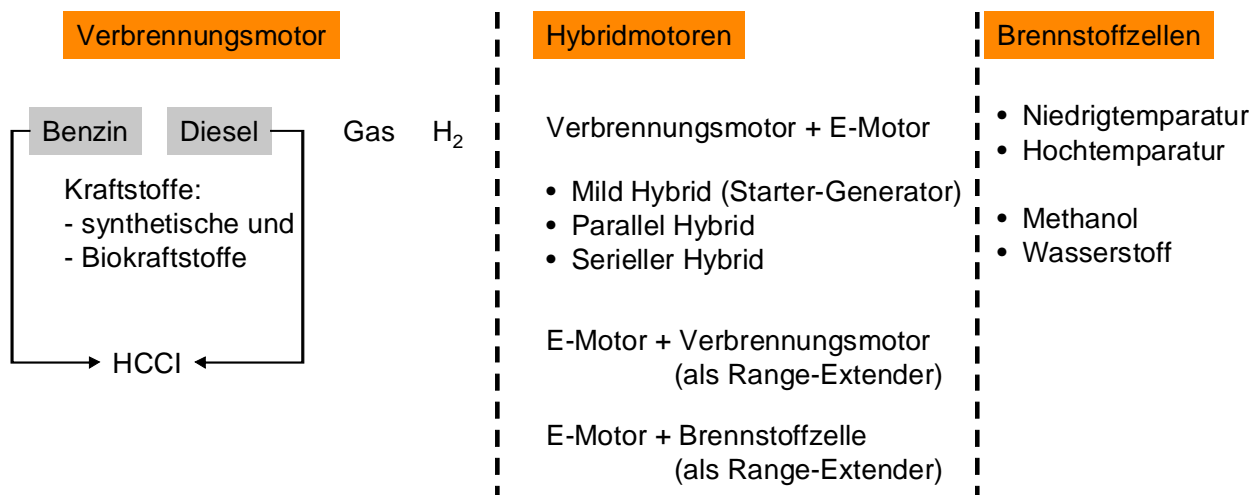
Ein zweites zentrales Feld der Produktinnovationen ist die Sicherheit des Fahrzeugs in Verbindung mit der elektronischen Unterstützung des Fahrers / der Fahrerin. Hierunter lassen sich alle Entwicklungspfade bei Brems- und Lenksystemen, Dämpfung bis hin zu integrierten Fahrerassistenzsystemen fassen, die die einzelnen Systeme verknüpfen und zu einem einheitlichen Steuerungssystem integrieren (siehe hierzu weiter im Abschnitt 2.2).

Beide Innovationsfelder sind durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet. Es geht nicht - wie in der Vergangenheit - um die Weiterentwicklung oder Erneuerung von Komponenten und Subsystemen, sondern um systemische Innovationen mit vielen Einzelaspekten und ihre Integration zu einer Problemlösung. „Systemisch“ bedeutet, dass die Innovationen nicht mehr nur neue Funktionalitäten in einzelnen Subsystemen des Fahrzeugs integrieren, sondern diese Subsysteme immer stärker miteinander vernetzt sind und starke Interdependenzen aufweisen. So steht bei der Weiterentwicklung der Bremssysteme nicht allein mehr das Bremssystem im Mittelpunkt, sondern ebenso stehen Sensorik, Softwareentwicklung in Verbindung mit Zielgrößen der Verkleinerung und Gewichtsreduktion auf der Agenda und letztlich die Integration des Bremssystems in die gesamte Fahrzeugsteuerung.

## **2.1 Antriebskonzepte**

In der folgenden Grafik sind zunächst die möglichen Entwicklungspfade im Bereich der Antriebe dargestellt:

Abb. 2 Antriebskonzepte



Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die weitere Optimierung der Verbrennungsmotore basiert im Kern auf der Verbesserung der Einspritzsysteme sowohl im Bereich der Benzin- wie der Dieselmotoren. So setzt z.B. VW mit der TSI-Technologie beim Benzinmotor auf eine Benzindirekteinspritzung in Verbindung mit einem Abgasturbolader (Doppelaufladung). Das Konzept der Aufladung ermöglicht zugleich eine Verkleinerung (Downsizing) der Motoren bei gleicher oder gar höherer Leistung, so dass der Verbrauch gesenkt wird. Im Jahr 2008 hat Bosch die vierte Generation der Common-Rail-Technologie für Dieselmotoren eingeführt, die statt bisher mit 2.000 jetzt mit 2.500 bar Druck arbeitet, um die Verbrennungsprozesse im Motor weiter zu verbessern und die Stickoxyd-Werte zu senken.<sup>5</sup>

Entwicklungspfade bei Verbrennungsmotoren sind gasbetriebene Motor, der HCCI-Motor sowie der Wasserstoffverbrennungsmotor.

- Gasbetriebene Motoren sind schon länger im Markt, verharren jedoch bislang in einer Nische, wenn auch die Nach- bzw. Umrüstung in den letzten Jahren ölpreis- und regulationsbedingt deutlich zugenommen hat.
- Erst im Stadium eines Prototyps befindet sich ein Verbrennungsmotor, der die besten Eigenschaften von Benzin- und Dieselmotor („Otto-Diesel“) vereint und das Kürzel HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) trägt. Problematisch ist aus heutiger Sicht, dass die homogene Verbrennung hohe Ansprüche an den Kraftstoff stellt und dass es im Prinzip einer Ko-Entwicklung in der Kraftstoffentwicklung hin zu synthetischem Kraftstoff (sog. Designer-Kraftstoffe) bedarf.
- Der Wasserstoffmotor ist ein Konzept, das von BMW verfolgt wird, da das Unternehmen im Entwicklungspfad der Brennstoffzelle keine Lösung für die geforderten Fahrdynamikanforderungen sieht. Seit 2007 befindet sich der „Hydrogen 7“ im Test - ausgewählten Test-Kunden wurden Fahrzeuge zur Verfügung gestellt.

<sup>5</sup> Konkurrenten wie Siemens VDO und Magneti Marelli haben für die Entwicklung eines Einspritzsystems eine Kooperation gebildet, um ab 2007 Einspritzsysteme für kleinere Dieselmotore auf Magnetventilbasis herzustellen und zu vermarkten.

Im Hinblick auf die Entwicklung im Bereich der Kraftstoffe stehen - neben der Beimischung von Bio-Kraftstoffen - Kombinationen von Kraftstofftypen und Motoren auf dem Entwicklungspfad von Antriebstechnologien. Die Entwicklung sowie der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen (sog. syn fuels) und von Bio-Kraftstoffen der zweiten Generation<sup>6</sup> (sog. sun fuels) überbrücken die Zeit auf dem Weg zum Elektroantrieb und zur Brennstoffzelle (Steiger 2008: 3).

Der Hybridantrieb ist ein von europäischen Automobilunternehmen<sup>7</sup> lange vernachlässigtes Thema – hier wird nun angesichts des Vorsprungs und Erfolgs insbesondere von Toyota auf dem japanischen und nordamerikanischen Markt von verschiedenen Kooperationen versucht, Technikentwicklung nach- und aufzuholen.

- So hatten GM, DaimlerChrysler und BMW im Jahr 2005 eine Entwicklungsallianz (Global Hybrid Cooperation) zur Entwicklung eines leistungsverzweigten Hybridantriebes gegründet und entwickelten in Troy/Michigan mit 500 Ingenieuren gemeinsam die Systemkomponenten, die Leistungselektronik und die Peripherie.
- Die Allianz aus VW/Audi und Porsche entwickeln demgegenüber gemeinsam an einem Parallelhybridantrieb, bei dem das Getriebe unverändert bleibt und sowohl Verbrennungs- als auch Elektromotor das Fahrzeug antreiben können.
- Auf der Zulieferseite haben sich Continental Automotive Systems (CAS) und ZF zusammen getan, um gemeinsam ab 2007 in jeweiliger Kooperation mit einem Endhersteller Parallelhybrid-Lösungen anzubieten. In der schwächsten Ausprägung des Hybridantriebes, dem sog. mild hybrid, kommt der in den Antriebsstrang zu integrierende Startergenerator zunehmend in die Diskussion. Anbieter wie ZF Sachs, Continental ISAD oder Valeo gehen davon aus, dass angesichts des Energiebedarfes von neuen Fahrzeugen und dem schwachen Energiespeicher (Batterie) neben dem Argument der Kraftstoffersparnis vor allem die stop-and-go-Funktion wie auch die Rückgewinnung der Bremsenergie (Rekuperation) für die breite Markteinführung des mild hybrids sprechen.

Die Elektrifizierung des Antriebes - bei dem das Hybridkonzept eine Brückenfunktion darstellt - ist zur Zeit der „Hype“ in der Branche. Nahezu alle Hersteller und Zulieferer thematisieren „E-Drive“ als das zukünftige Konzept für den Antriebsstrang, obwohl für einen reinen Elektroantrieb noch viele technische Probleme zu lösen sind. Größter Engpass sind die notwendigen Batterien (Energiespeicher), die zur Zeit von der Speicherkapazität, vom Gewicht her und von den Kosten noch nicht für die automobilen Nutzung in Serienfahrzeugen einsetzbar sind. Nicht zuletzt steht unter ökologischen Gesichtspunkten die Frage im Raum, wie der Strom gewonnen wird, mit dem das Fahrzeug betrieben wird. Erst wenn in ausreichendem Umfang die Stromgewinnung aus regenerativen Quellen erfolgt, lassen sich Elektrofahrzeuge ökologisch nutzen.

---

<sup>6</sup> Bio-Kraftstoffe der 2. Generation werden aus Biomasse gewonnen und gehen nicht zu Lasten von Nahrungsmitteln, wie dies bei Bio-Kraftstoffen der 1. Generation der Fall ist.

<sup>7</sup> PSA hat – im Gegensatz zu allen anderen Akteuren – im Jahr 2006 den Dieselhybrid als Kombination von Diesel- und Elektromotor für den PKW-Antrieb ins Spiel gebracht und musste sich heftige Kritik der Wettbewerber gefallen lassen, da kaum vorstellbar wäre, dass solch ein Antriebssystem aus Kostengründen am Markt absetzbar sei, da nicht nur der zusätzliche Elektroantrieb sowie die gesamte Motorensteuerung Kosten verursache, sondern auch der Dieselmotor deutlich teurer als der Benzinmotor sei.



Bislang verfügbare E-Drive-Technologien erlauben nur eingeschränkte Aktionsradien und befinden sich im Versuchsstadium. Als Zwischenschritt wird die Kombination von Elektro- und Verbrennungsmotor angesehen, wobei ein kleindimensionierter Verbrennungsmotor die Funktion hat, die Batterien zu laden (sog. Range Extender).<sup>8</sup> Dem „Plug-in“-Konzept, das die Aufladung der Batterien an der Steckdose vorsieht, werden die größten Marktchancen zugebilligt, wozu jedoch noch ein erheblicher Aufwand im infrastrukturellen Bereich notwendig wäre (DB Research 2009: 11, VDA 2009: 5).

Aus Sicht der Stromanbieter lässt sich aus heutiger Sicht der Energiemix zugunsten regenerativer Anteile nicht soweit verändern, dass eine Stromversorgung für den Elektroantrieb ökologisch verträglicher wäre. Es fehlt an dezentralen Speicherkapazitäten, die nur mit hohem Investitionsaufwand zur Verfügung stünden. Die Bereitstellung von Speichern würde sich daher erst bei einer breiteren Elektrifizierung der Fahrzeugantriebe lohnen - aus diesem Grunde besteht ein hohes Eigeninteresse der Stromanbieter, die Elektrifizierung des Fahrzeugantriebes zu forcieren.

Industriepolitisch wird die Elektrifizierung des Antriebsstrangs durch den Beschluss des deutsch-französischen Ministerrats, der die Allianz von 20 Fahrzeugherstellern und Energieversorgern<sup>9</sup> zur flächendeckenden Einführung von Elektroautos unterstützt. Ziel ist die Schaffung von De-facto-Standards sowie die Zusammenarbeit bei der Entwicklung von umweltschonenden Autoantrieben (Handelsblatt vom 11.03.2009).

Zur Batterietechnologie wurden im letzten Jahr (2008) eine Vielzahl von Entwicklungskooperationen (z.T. als Gemeinschaftsunternehmen) gebildet wie bspw. Daimler mit Evonik, RWE und Magna, Bosch mit Samsung, VW mit Toshiba, Renault-Nissan mit NEC. Damit erhalten bislang branchenfremde Akteure einen zentralen Stellenwert für die zukünftige Entwicklung im Antriebsstrang.

Diese hier nur verkürzt dargestellbare Vielfalt möglicher Entwicklungspfade im Antriebsstrang birgt hohe Unsicherheiten in Bezug auf den oder die einzuschlagenden Wege, die jeweils mit hohen Aufwendungen verbunden sind. Angesichts begrenzter Ressourcen sehen sich die Akteure der Automobilindustrie mit der Qual der Wahl konfrontiert und laufen prinzipiell Gefahr, in den falschen Entwicklungspfad zu investieren. Gleichzeitig gilt es, sich die Optionen für mehrere Pfade offen zu halten. Optionen können durch Kooperationen und strategische Allianzen, durch Entwicklungspartnerschaften wie bspw. in der Batterietechnologieentwicklung aber sicherlich nicht durch ausschließlich eigene finanzielle und eigene Kompetenzressourcen offen gehalten werden.

Angesichts der bestehenden Unsicherheiten, der Vielzahl von möglichen Entwicklungspfaden und absehbaren Reaktionsmustern, wie sie sich im Zusammenhang mit der Elektrifizierung des Fahrzeugs gerade herausbilden, werden sich bestehende industrielle Strukturen verändern. Im Hinblick auf die Beschäftigungssituation sind aus heutiger Sicht bei einer Durchset-

---

<sup>8</sup> Nach diesem Konzept ist bspw. der Opel Ampera, der auf dem Genfer Automobilsalon 2009 vorgestellt wurde, ausgerüstet.

<sup>9</sup> An dieser Allianz will auch ein Branchenneuling mitwirken, der in verschiedenen Ländern bereits begonnen hat, eine Versorgungsinfrastruktur für automobilen Stromversorgung aufzubauen: Better Place, ein Start-up, das den Aufbau von Lade- und Wechselstationen in Kooperation mit Nationalstaaten vorantreibt.

zung eines Elektroantriebes die Folgen für Qualifikationen und Arbeitsplätze nur nebulös erkennbar - was passiert in und mit den bestehenden Motoren- und Getriebewerken und den Beschäftigten? Werden sie zukünftig Elektromotoren fertigen oder werden diese E-Motoren von gänzlich anderen Anbietern produziert? Können sie ihre Kompetenz der Montage von Antrieben auch bei drastisch veränderter Wertschöpfungsstruktur aufrecht erhalten oder kommen bspw. Elektromotorenhersteller zum Zuge?

## **2.2 Aktive Fahrzeugsicherheit**

Zur aktiven Fahrzeugsicherheit werden alle Komponenten subsummiert, die den Fahrer / die Fahrerin des Fahrzeugs unterstützen und die Fehlerquelle „menschlicher Faktor“ reduzieren sollen. Hierzu gehören die Brems- und Lenksysteme sowie die Fahrwerksregelungen (Dämpfung, elektronische Stabilisierung), die durch integrierende Fahrerassistenzsysteme zentral gesteuert werden.

Die Entwicklungsarbeiten an einem elektronmechanischen Bremssystem („brake-by-wire“) wurden von Bosch aus Komplexitäts- und Kostengründen 2003 eingestellt. Mitte 2005 wurde das ESP plus als Weiterentwicklung in den Markt eingeführt, 2006 erfolgte ein weiterer Schritt unter der Bezeichnung ESP premium zu einem Bremssystem, das einige Funktionalitäten eines brake-by-wire-Systems aufweist. Es bietet die Möglichkeit der Vernetzung zu einem „Vehicle Dynamics Managementsystem“, das die verschiedenen Systeme der aktiven Sicherheit zusammenführt. Nahezu zeitgleich wurde eine Entwicklung publiziert, die das Bremssystem im Fahrzeug völlig neu gestalten könnte. Siemens VDO (seit Ende 2007 Teil der Continental AG) hatte Anfang des Jahres 2005 angekündigt, den Serieneinsatz der elektronischen Keilbremse bis 2010 zu realisieren. Das Potenzial, das die elektronische Keilbremse mit sich bringt, wird deutlich, wenn Siemens VDO davon ausgeht, dass bisherige ABS- und ESP-Funktionen durch die integrierte Software des Bremssystems abgelöst werden können.

Unter Gesamtintegrationsaspekten und einer zentralen elektronischen Steuerung folgt Siemens VDO dem Konzept eCorner, Continental Automotive setzt ebenfalls mit der Weiterentwicklung seines Bremssystems (ESP II) auf den Integrationsgedanken und will Brems-, Lenksystem sowie die Fahrwerksregelung zusammen mit weiterer Sensorik zu einem APIA-System (Active Passive Integration Approach) verschmelzen. Desweiteren wird über Konzepte nachgedacht, die die Sicherheit der Insassen durch Lösungen erhöhen, die vor einem Zusammenprall (pre-crash) wirken und ggf. den Einsatz von Airbags überflüssig machen.

Bei diesen genannten Komponenten wird die weitere Elektronisierung sowie die zentrale Rolle und Bedeutung der Software, über die diese Systeme gesteuert und integriert werden, deutlich.

## **2.3 Weitere Innovationsfelder**

Über diese beiden Kernbereiche hinaus lassen sich noch eine Reihe von Innovationsfeldern benennen, in denen ähnlich komplexe Strukturen anzutreffen sind. Dies betrifft weitere Elemente der passiven Sicherheit, indem umfangreiche Sensorik zur Beobachtung des Fahrers / der Fahrerin entwickelt wird, um bei erkennbarer Müdigkeit zu warnen - hier kommen Kompetenzen aus dem Bereich der Medizintechnik in den Fahrzeugbau. Oder im Bereich Komfort im Hinblick auf automatisches Einparken oder der Nutzungsfreundlichkeit für ältere Men-

schen, wenn auf die spezifischen Bedürfnisse der alternden Gesellschaft Bezug genommen wird. Ebenfalls dem Bereich Komfort /Sicherheit zuzuordnen sind Innovationen, die im CarIn-fotainment geplant sind, indem das „Internet auf Rädern“ durch car-to-car- und car-to-infrastructure und damit um Elemente der Unfallvermeidung sowie der Verkehrsbeeinflussung erweitert wird.

Ein weiteres großes Feld von Innovationen sind die Werkstoffe und Materialien, bei denen Kompetenzen in der Technischen Chemie (Werkstoffwissen), Bionik oder auch Nanotechnologie für den Automobilbau genutzt werden.

### **3 Veränderung der Arbeitsteilung in den Prozessketten**

Die anhaltende Innovationsdynamik hat dazu geführt, dass sich die Arbeitsteilung zwischen den Akteuren der Prozesskette verändert hat (Jürgens/Meißner 2005: 19 ff.). Interdependenzen und Komplexität von Entwicklungsprozessen sowie ihre Beschleunigung haben zu neuen Konfigurationen und Steuerungsmechanismen in der Prozesskette geführt: Von hierarchisch und durch die OEMs gesteuerte Prozesse der Fahrzeug- und Komponentenentwicklung hin zu Entwicklungsprozessen, die durch netzwerkförmige Strukturen beschrieben werden können. In Forschungsfeldern, die durch einen dynamischen wissenschaftlich-technischen Fortschritt gekennzeichnet sind, sind die Wissensressourcen global und über verschiedene Organisationen verteilt, so dass kein einzelnes Unternehmen allein über die notwendigen finanziellen Mittel, notwendigen Fähigkeiten, Kompetenzen und Qualifikationen verfügt, eine Spitzenposition zu erreichen und sie auch zu behalten. Als Lösung für dieses „Dilemma“ werden Innovationsnetzwerke angesehen, die zum zentralen Ort der Innovationsentwicklung werden (Powell/Grodal 2005: 59). Die Herausforderung wird darin bestehen, die Innovationsnetzwerke zu organisieren und die Potenziale dieser organisationalen Innovationen zu nutzen. Dass Clusterorganisationen, die sich nahezu flächendeckend in europäischen Automobilregionen entwickelt haben, im Hinblick auf die Organisation von Innovationsnetzwerken auf der regionalen Ebene Möglichkeiten schaffen oder Strukturen aufbauen können, um regionale Akteure bei einer Beteiligung an überregionalen oder internationalen Innovationsnetzwerken zu unterstützen, scheint nach empirischen Untersuchungen fraglich. Ihr Beitrag liegt überwiegend in der Organisation regionalspezifischer Projekte (Jürgens/Blöcker/Meißner 2009).

Im Hinblick auf das Ziel der Reduzierung der Fertigungstiefe in den 1990ern Jahren sind einschneidende Veränderungen in der Produktarchitektur vorgenommen worden, die unter den Begriffen der Modularisierung bzw. des Plattformansatzes diskutiert und umgesetzt und mit dem Konzept der „Modularen Längs- und Quer-Baukästen“ (MLB und MQB; Volkswagen/Audi) erweitert werden.

- Unter Modularisierung wird die Übertragung der Entwicklungs- und Fertigungsverantwortung von komplexen Bauteilen oder Subsystemen des Fahrzeugs wie z.B. das Sitzsystem oder das Lenksystem auf Modul- oder Systemlieferanten verstanden.
- Mit dem Plattformansatz werden baugleiche Komponenten oder Module in mehreren Fahrzeugreihen eingesetzt, um Komplexität zu reduzieren und „economies of scale“, d.h. Massenproduktionsvorteile zu erzielen.

- Mit dem MQB / MLB-Konzept<sup>10</sup> ist eine Ausweitung der Modulnutzung verbunden, die auf der einen Seite Massenproduktionsvorteile nutzt und andererseits Entwicklungsaufwand spart und damit Ressourcen freisetzt, die in anderen Feldern genutzt werden können.

Die Verlagerung von Aufgaben und Entwicklungsverantwortung an Zulieferer wie auch Entwicklungsdienstleister hat bis zum Jahr 2005 dazu geführt, dass etwa 60% der FuE-Wertschöpfung von Zulieferern und nur noch knapp ein Drittel von OEMs erbracht wurde. Darüber hinaus wurden ausgewählte innovationsstarke Zulieferer enger und deutlich früher in den Prozess der Konzeptentwicklung der Fahrzeuge einbezogen (Roland Berger 2004: 19; Oliver Wyman 2007: 33).

Als eine Form der Krisenbewältigung und zur Sicherung der Beschäftigung, aber auch als Strategie zum Erhalt oder zur Wiedererlangung spezifischer Kompetenzen (Absicherung von Kern-know-how) sind quasi als gegenläufige Tendenz zur Verringerung der Fertigungstiefe das Zurückholen von ehemals ausgelagerten Fertigungen erkennbar, wie z.B. die Rückholung der ausgelagerten Fertigung von Cabrio- und Nischenfahrzeugen von Unternehmen wie Magna oder Karmann.

## 4 Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

1. Ein Großteil der Innovationsentwicklung wird durch die Regulierung von Emissions- und Sicherheitsbestimmungen beeinflusst. Elektronik und damit Software zur Steuerung wird für den Großteil zukünftiger Innovationen die Querschnittstechnologie darstellen.
2. Auf den Innovationsfeldern werden zunehmend „branchenfremde“ Technologien und damit Akteursstrukturen relevant. Dies gilt für den Bereich Elektronik, Sensorik, Software, aber auch für neue Werkstoffe, Fügeverfahren, Medizintechnik, Bionik, Nanotechnologie etc. Diese Technologien und Akteursstrukturen gilt es in die automobilen Wertschöpfungsprozesse zu integrieren.
3. Die Vielzahl der unterschiedlichen Entwicklungsmöglichkeiten sowie die Unsicherheit über die Zeitpunkte, was sich wann am Markt durchsetzen wird, stellen die Akteure vor große Herausforderungen bei der Wahl des eigenen Technologiepfades.
4. An dieser Wahl hängen fundamentale Fragen der Arbeitsplatz- wie der Qualifikationsperspektive für die Beschäftigten bei Automobilherstellern und Zulieferern, ebenso wie für zukünftige Berufsbilder der Branche.
5. Diese Herausforderungen stärken den Ruf nach einem veränderten Innovationsparadigma, das nicht nur den Kundennutzen sowie gesellschaftliche und ökologische Gesichtspunkte, sondern auch den Zusammenhang von Produkt- mit Prozess-, organisationalen und sozialen Innovationen in den Vordergrund rückt und damit für ein ganzheitliches Verständnis von Innovationsprozessen plädiert.

---

<sup>10</sup> Mit dem Konzept ist die gemeinsame Nutzung von Modulen für zwei Varianten von Fahrzeugen verbunden: Entweder für Fahrzeuge mit einem quereingebauten oder Fahrzeuge mit einem längs zur Fahrtrichtung eingebauten Motor.

## 5 Literatur

- CARS21 (2008): Mid-Term Review High Level Conference – Conclusions and Report, EU COM DG Enterprise and Industry: Automotive, 29.10.2008. Brüssel
- DB Research (Deutsche Bank Research) (2009): Automobilindustrie am Beginn einer Zeitenwende, Beiträge zur europäischen Integration (EU-Monitor 62), Frankfurt /Main, 06.02.2009
- Jürgens, Ulrich, Antje Blöcker, Heinz-Rudolf Meißner (2009): Innovationsnetzwerke und regionale Cluster in der Automobilindustrie, Endbericht zum Projekt 2005-729-1, gefördert durch die Hans-Böckler-Stiftung (unveröffentlicht)
- Jürgens, Ulrich, Heinz-Rudolf Meißner (2005): Arbeiten am Auto der Zukunft. Produktinnovationen und Perspektiven der Beschäftigten. Edition Sigma. Berlin
- Jürgens, Ulrich, Thomas Sablowski (2008): Sektorale Innovationsprozesse und die Diskussion über deutsche Innovationsschwächen, Düsseldorf (edition Hans-Böckler-Stiftung 204)
- Kurek, Rainer (2004): Erfolgsstrategien für Automobilzulieferer. Wirksames Management in einem dynamischen Umfeld. Berlin u.a.: Springer-Verlag
- Legler, Harald, Birgit Gehrke, Mark Leidmann (2007): Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Deutschland im internationalen Vergleich; Studien zum deutschen Innovationssystem 1-2008 (November 2007), Bonn
- McKinsey & Company; PTW (Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen der Technischen Universität Darmstadt) (2003): HAWK 2015 – Wissensbasierte Veränderung der automobilen Wertschöpfungskette. VDA-Materialien zur Automobilindustrie, Bd. 30. Frankfurt/M. - [http://www.mckinsey.de/\\_downloads/kompetenz/aa/HAWK.pdf](http://www.mckinsey.de/_downloads/kompetenz/aa/HAWK.pdf)
- Oliver Wyman (2007): Car innovation 2015 (pdf-Datei)
- Powell, Walter W., Stine Grodal (2005): Networks of Innovators in: Fagerberg, Jan, David C. Mowery, Richard R. Nelson (Ed.): The Oxford Handbook of Innovation, pp 56-85, Oxford University Press, New York
- Roland Berger (2004): Automotive engineering 2010, Detroit (pdf-Datei)
- Roth, S. (2009): Innovationsfähigkeit im globalen Hyperwettbewerb. Eine explorative Studie, FAST e.V. Berlin, Forschungsbericht für die Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf
- Steiger, Wolfgang (2008): Die Zukunft der Fahrzeugantriebe; Vortragsfolien 25.08.2008, Frankfurt
- Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2008): facts Forschung und Entwicklung, Essen, Dezember 2008 ([www.wissenschaftsstatistik.de](http://www.wissenschaftsstatistik.de))
- VDA (Verband der deutschen Automobilindustrie) (2009): VDA-Position zur Elektromobilität, Frankfurt /Main, 14.11.2008
- VDA (Verband der deutschen Automobilindustrie) 2008: Jahresbericht 2008. Frankfurt/Main
- ZEW / ISI (2008): Innovationsverhalten der deutschen Wirtschaft - Indikatorenbericht zur Innovationserhebung 2007, Mannheimer Innovationspanel, Mannheim, Jan. 2008