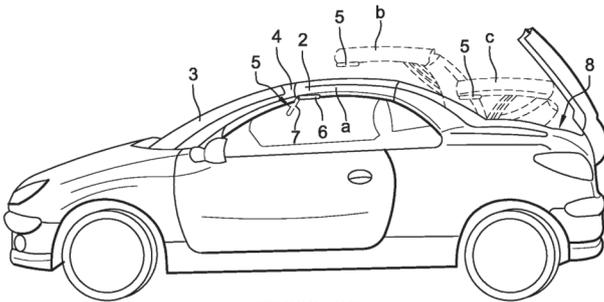


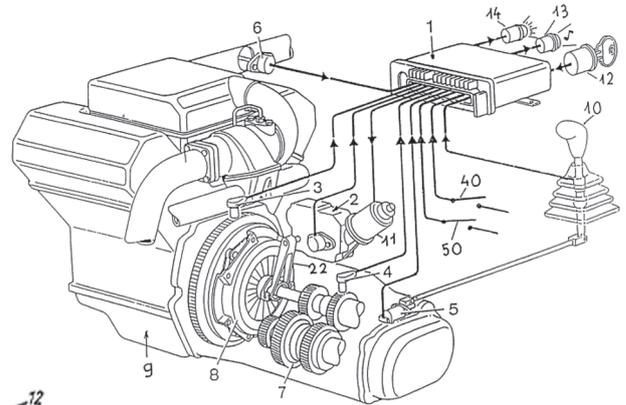


# Erfinderaktivitäten 2011

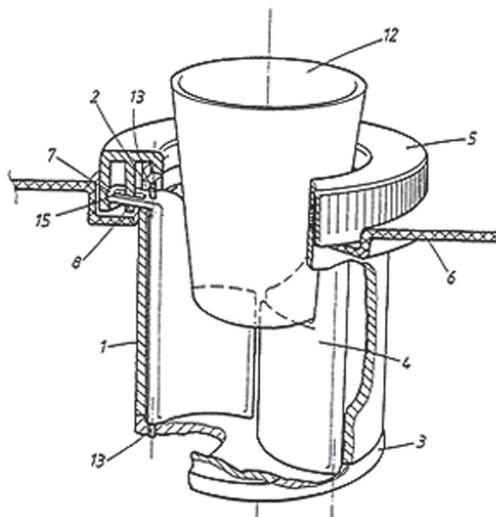
Schwerpunkt: Kraftfahrzeugtechnik



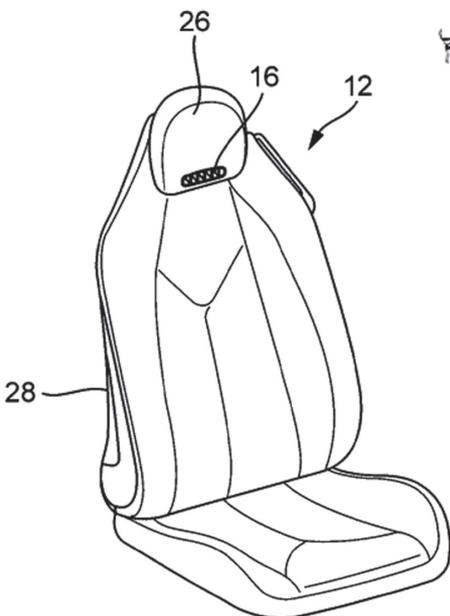
aus FR 2 932 722 A1



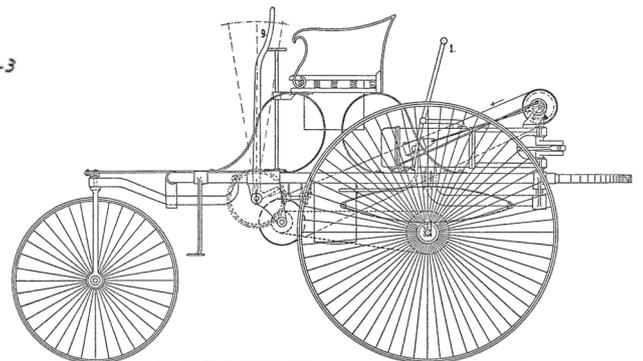
aus DE 693 03 457 T2



aus DE 195 46 126 C2



aus DE 103 19 146 A1



aus DE 37 435 A



# Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser der „Erfinderaktivitäten 2011“,

wie sieht die automobiler Welt der Zukunft aus? Welches Potenzial bieten alternative Antriebe? Mit welchen Maßnahmen lassen sich Otto- und Dieselmotoren weiter optimieren? Woran arbeiten die Ingenieure in den Laboren und Entwicklungszentren der Automobilindustrie?

Die neue Ausgabe der „Erfinderaktivitäten“ des Deutschen Patent- und Markenamtes, die erstmals als Themenheft erscheint, widmet sich speziell der Kraftfahrzeugtechnik. Die Artikel wurden von den mit den jeweiligen Fachgebieten befassten Patentprüferinnen und Patentprüfern geschrieben. Dadurch war es möglich, eine Fülle von Erfindungen und zukunftsweisenden Entwicklungen in dieses Sammelwerk aufzunehmen.

Als Beispiel hierfür mag die Brennstoffzelle dienen, die in den letzten Jahren eine interessante Entwicklung erlebt hat. Die Autoren des Fachartikels über die Brennstoffzelle gewähren Ihnen einen Einblick in die Prinzipien dieser Technologie und stellen Ihnen unter anderem die netzunabhängige tragbare Brennstoffzelle vor, deren Erfinder mit dem Europäischen Erfinderpreis 2012 ausgezeichnet wurde.

Die in den Artikeln genannten Schriften umfassen den bis zum Redaktionsschluss am 5. April 2012 der Öffentlichkeit bekannten Stand der Technik.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihnen,

Dr. Thomas Flaschke  
(Redaktion)

| <b>Inhalt</b>                                                                                                                             | <b>Seite</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Vorwort.....                                                                                                                              | 1            |
| Potenziale der Verbrauchs- und Emissionsreduzierung von Pkw-Antrieben<br><i>Dr. Andrea Acker, Dipl.-Ing. Jörg Engelhardt</i> .....        | 3            |
| Kraftfahrzeugventilsysteme zur direkten Kraftstoffeinspritzung<br><i>Dipl.-Ing. Gianni Monti</i> .....                                    | 11           |
| On-Board-Diagnose von Abgasnachbehandlungssystemen<br><i>Dr. Bettina Kuhn</i> .....                                                       | 18           |
| Konzepte stufenloser Getriebe (CVT)<br><i>Dr. Robert Fehling</i> .....                                                                    | 24           |
| Start-Stopp-Systeme und deren Umsetzung in Automobilgetrieben<br><i>Dr. Bodo Kappes</i> .....                                             | 30           |
| Nachhaltige Mobilität mit Brennstoffzellen<br><i>Dr. Agnieszka Bes, Dr. Volker Rüger, Dipl.-Ing. Frank Senftleben</i> .....               | 38           |
| Elektrische Kraftfahrzeugantriebstechnik<br><i>Dipl.-Ing. Martin Czech, Dr. Andreas Meixner, Dipl.-Ing. Johannes Öttl</i> .....           | 49           |
| Spannungsstabilisierung in Kraftfahrzeug-Bordnetzen<br><i>Dipl.-Ing. Jürgen Brix</i> .....                                                | 63           |
| Von der reinen Geschwindigkeitsregelung zu mitdenkenden Fahrerassistenzsystemen<br><i>Dr. Peter Christ, Dipl.-Ing. Michael Koch</i> ..... | 69           |
| Getränkehalter in Kraftfahrzeugen – mehr als nur ein Halter für Getränke<br><i>Dipl.-Ing. Christian Kraft</i> .....                       | 79           |
| Das Cabriolet, ein besonderes Fahrzeug – eine Übersicht<br><i>Dr. Andreas Monokroussos</i> .....                                          | 86           |

# Potenziale der Verbrauchs- und Emissionsreduzierung von Pkw-Antrieben

Dr. Andrea Acker, Dipl.-Ing. Jörg Engelhardt, Patentabteilung 1.13

Zur Senkung der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde in den vergangenen Jahren viel über das Thema Elektromobilität diskutiert. Doch aktuelle Studien liefern bezüglich der Gesamtenergiebilanz ein ebenso ernüchterndes Ergebnis wie Testreihen bezüglich der Reichweite und dem Verhalten bei niedrigen Temperaturen [1], [4]. Welche Potenziale haben hingegen die konventionellen Antriebe mit einer Brennkraftmaschine in der Zukunft? Eine Frage, die immer häufiger gestellt wird. Die Verfasser sind der Meinung, dass das Potenzial der klassischen Brennkraftmaschine noch sehr groß ist. Der folgende Beitrag gibt einen Überblick zum Thema der Verbrauchsbilanzen und -potenziale von klassischen Brennkraftmaschinen mit einer Auswahl innovativer Lösungsansätze um diese Potenziale zu nutzen.

## 1 Einleitung

Ende Januar 2012 berichtete die „taz“ über ein Gutachten des Freiburger Öko-Instituts, welches zu dem Schluss kam, dass Elektrofahrzeuge längst nicht so umweltfreundlich seien wie bisher angenommen [1]. Es sei sogar das Gegenteil der Fall, so die Gutachter. Ein zunehmender Ausbau führe gar zu einer stärkeren Klimabelastung als konventionelle Antriebe. So berichtete das Institut in seinem Gutachten, dass man zwar einerseits durch einen Ausbau der Elektroflotte auf eine Million Fahrzeuge bis zum Jahr 2022 die Emissionen der Treibhausgase um 6% reduzieren könne, andererseits man aber durch einen Einsatz effizienterer Benzinmotoren anstelle der Elektroantriebe die schädlichen Klimagase um bis zu 25% senken könne.

Ein zunächst überraschendes Ergebnis und eine ernüchternde Erkenntnis zu der gerade an Akzeptanz gewinnenden Elektromobilität. Im Folgenden sollen die Ergebnisse dieser Studie nicht näher beurteilt oder bewertet werden. Es soll vielmehr aufgezeigt werden, dass die konventionellen Antriebe für Pkw, also die

klassische Brennkraftmaschine mit einem Otto- oder Dieselmotorenverfahren, noch enorme Potenziale der Verbrauchsreduzierung und somit der Wirkungsgradsteigerung aufweisen. Hierfür gibt es noch eine große Bandbreite ungenutzter Möglichkeiten, um eine Reduzierung von Kraftstoffverbrauch und der damit direkt verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erzielen.

## 2 Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung

### 2.1 Überblick

Betrachtet man die Energiebilanz an einem Pkw-Antrieb, so gilt für den effektiven Gesamtwirkungsgrad des Antriebsstranges  $\eta_{e,gesamt}$  folgender Zusammenhang aus der Antriebsenergie  $E_{mech}$  (also die für den Antrieb des Fahrzeuges tatsächlich erforderliche mechanische Energie) und der zugeführten Energie  $E_{Kraftstoff}$ :

$$\eta_{e,gesamt} = \frac{E_{mech}}{E_{Kraftstoff}} \quad (1)$$

Der Gesamtwirkungsgrad des Antriebsstranges stellt wiederum ein Produkt aus dem effektiven Wirkungsgrad des Motors, dem effektiven Wirkungsgrad des Getriebes sowie dem effektiven Wirkungsgrad des restlichen Triebstranges dar:

$$\eta_{e, \text{gesamt}} = \eta_{e, \text{Motor}} \cdot \eta_{e, \text{Getriebe}} \cdot \eta_{e, \text{restlicher Triebstrang}} \quad (2)$$

Dieser effektive Wirkungsgrad  $\eta_{e, \text{Motor}}$  liegt bei Ottomotoren bei etwa 35% und bei Dieselmotoren bei etwa 40%. Diese Werte gelten allerdings nur für die Vollast, im Teillastbereich werden die Wirkungsgrade mit sinkender Last zunehmend schlechter. Den schlechtesten Wirkungsgrad hat ein Leerlaufbetriebspunkt bei stehendem Fahrzeug. Die Antriebsenergie am Rad ist hier gleich Null und somit ist entsprechend der Formel (1) in diesem Falle auch der Wirkungsgrad gleich Null.

Die Verlustenergie liegt somit zwischen 60% und 100% der zugeführten Energie. Diese Verluste werden ausschließlich in Wärme umgewandelt, wobei der größte Teil über den Abgasstrom und den Kühlmittelkühler an die Umgebung abgeführt wird. Ein weiterer Teil der Wärme gelangt über Strahlung und Konvektion (zum Beispiel des Motorblocks und /oder des Zylinderkopfes) sowie, falls vorhanden, über den Ladeluftkühler an die Umgebung. Anders gesagt: Im Schnitt dienen nur etwa 20% einer Tankfüllung zur Fortbewegung des Fahrzeuges. Mit den restlichen 80% wird die Umgebung aufgeheizt.

Die Systemgrenze der vorliegenden Betrachtung soll am Rad enden und nur den Antriebsstrang beinhalten. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass Maßnahmen am Gesamtfahrzeug, wie zum Beispiel an den Reifen, der Aerodynamik und durch Leichtbau insgesamt, den Fahrwiderstand verringern und somit ebenfalls enorme Einsparpotenziale darstellen können.

Im Folgenden werden Maßnahmen aufgezeigt, um die circa 80% Verlustenergie im Antriebstrang effektiv zu nutzen und direkt oder indirekt dem eigentlichen Antrieb zuzuführen. Hierzu sind Maßnahmen im Motor, an der Motorperipherie sowie im Triebstrang und im Abgasstrang denkbar.

## 2.2 Maßnahmen im Motor

Der effektive Wirkungsgrad  $\eta_{e, \text{Motor}}$  einer Brennkraftmaschine wird definiert durch

$$\eta_{e, \text{Motor}} = \eta_i \cdot \eta_m \quad (3), [2]$$

mit dem indizierten Wirkungsgrad

$$\eta_i = \frac{\int p dV}{m_b \cdot H_u} \quad (4), [2]$$

(mit  $p$ : Zylinderdruck,  $V$ : Zylindervolumen,  $m_b$ : zugeführte Brennstoffmasse und  $H_u$ : unterer Heizwert)

und dem mechanischen Wirkungsgrad

$$\eta_m = \frac{P_{me}}{P_{me} + P_{mr}} \quad (5), [2]$$

(mit  $p_{me}$ : effektiver Mitteldruck und  $p_{mr}$ : Reibmitteldruck).

Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen, muss folglich gemäß Formel (4) mit möglichst wenig Brennstoff ( $m_b$ ) ein möglichst hoher Zylinderdruck ( $p$ ) erzeugt werden. Dies kann beispielsweise durch eine Optimierung des Brennverfahrens erfolgen. Die Größe  $H_u$  (unterer Heizwert) soll dabei nicht weiter betrachtet werden, da es sich um einen festen Stoffwert handelt.

Aus der Gleichung (5) wird außerdem deutlich, dass der Reibmitteldruck  $p_{mr}$  möglichst gering sein sollte. Ein Ziel sollte daher auch sein, die Reibleistung zu senken.

Zusammenfassend kann eine Erhöhung des Wirkungsgrades und somit eine Reduzierung von Verbrauch und Emissionen durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Optimierung des Brennverfahrens
- Reduzierung der Reibleistung

Bezüglich einer Optimierung des Brennverfahrens stehen dem Motorenentwickler unter anderem folgende Möglichkeiten zur Verfügung, um auf die folgend genannten Parameter Einfluss zu nehmen:

| Parameter      | Physikalischer Effekt                                                     | Möglichkeiten zur Umsetzung in der Praxis                                                                              |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aufladung      | Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades durch Erhöhung des Zylinderdrucks | Turbolader, mechanischer Lader, Druckwellenlader, „Downsizing“                                                         |
| Ladungswechsel | Reduzierung der Ladungswechselverluste                                    | HCCI <sup>1</sup> -Brennverfahren, variabler Ventiltrieb, Abgasrückführung, Miller-Verfahren                           |
| Brennverlauf   | Verbesserung des Umsetzungsgrads, Form und Lage der Verbrennung           | HCCI <sup>1</sup> -Brennverfahren, Einspritzverlaufsformung durch Mehrfacheinspritzungen, Erhöhung des Einspritzdrucks |

1 Homogeneous Charge Compression Ignition

Bezüglich einer Reduzierung der Reibleistung stehen zum Beispiel folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

| Parameter                                 | Physikalischer Effekt                                                | Möglichkeiten zur Umsetzung in der Praxis                       |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Effektiver Mitteldruck                    | Senkung des relativen Anteils der Reibleistung (siehe Gleichung (5)) | Downsizing                                                      |
| Schmierung / Reibung                      | Absenken der Viskosität bei Erhalt der Schmiereigenschaften          | Leichtlauföle, Aufheizung des Öls im Kaltstart                  |
| Toleranzen, Passungen, Werkstoffpaarungen | Senkung der Reibungswerte                                            | Neuartige Werkstoffe, Fertigungstoleranzen, Fertigungsverfahren |

### 2.3 Maßnahmen an der Motorperipherie

Hier sollen die Komponenten betrachtet werden, die vom Motor mit angetrieben werden und hierbei dem Motor mechanische Leistung entnehmen. Aggregate der Motorperipherie sind zum Beispiel:

- Lichtmaschine
- Wasserpumpe
- Ölpumpe
- Klimakompressor

Die Aufgabe diese Komponenten zu optimieren scheint zunächst einfach: Sie sollten dem Motor möglichst wenig mechanische Leistung entnehmen, dabei aber ihre volle Funktion erfüllen. Eine Gratwanderung, denn sind die Komponenten zu schwach dimensioniert, kann dies die Lebensdauer der Brennkraftmaschine drastisch reduzieren beziehungsweise zu Komfort- oder Funktionseinbußen führen. Sind die Komponenten überdimensioniert, führt dies zu einem unnötigen Energieverbrauch und somit zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades.

Neben der generellen Optimierung der Wirkungsgrade dieser Komponenten besteht eine weitere Möglichkeit darin, durch eine intelligente Steuerung diese Komponenten nur nach Bedarf einzusetzen. So ist es bereits Stand der Technik, die Lichtmaschine bei voll geladener Batterie abzuschalten beziehungsweise eine Aufladung nur in den Schubphasen des Motors durchzuführen. Auch der Antrieb der Wasserpumpe birgt durch eine bedarfsgerechte Steuerung enorme Einsparpotenziale: So kann zum Beispiel während eines Kaltstarts die Wasserpumpe abgeschaltet bleiben.

## 2.4 Maßnahmen im Triebstrang

Zu den im Triebstrang liegenden Komponenten zählen unter anderem:

- Kupplung
- Getriebe (Automatik oder Handschalter)
- Differentialgetriebe

Neben der Reduzierung der Verlustleistung dieser Komponenten durch eine Optimierung der Schmierung und Verbesserung der Reibung ergeben sich auch durch moderne Motorsteuerungen im Zusammenspiel mit der Getriebesteuerung von Automatikgetrieben große Optimierungspotenziale. Intelligente Getriebesteuerungen „kennen“ das Verbrauchskennfeld des Motors und wählen ausgehend von der aktuell geforderten Antriebsleistung die Übersetzungsstufe, bei welcher der Motor in einem verbrauchsoptimalen Betriebspunkt betrieben werden kann.

## 2.5 Maßnahmen im Abgasstrang

Um besser zu verdeutlichen, welche Mengen an Energie durch das Abgas in Form von Wärme verloren gehen, im Folgenden zunächst ein stark vereinfachtes Beispiel:

Angenommen wird eine einstündige Fahrt mit einem Dieselfahrzeug mit zwei Liter Hubraum bei einer Motordrehzahl von 2000 1/min – beispielsweise bei einer Stadtfahrt bei 60 km/h im vierten Gang.

Der Motor setzt in dieser einen Stunde 120 Kubikmeter Luft (in etwa der Rauminhalt einer Zweizimmerwohnung) durch, was einer Masse von 144 kg Luft entspricht. Die Abgastemperatur kann hierbei mit etwa 500 °C angenommen werden, bei zum Beispiel 20 °C Außentemperatur wird die Luft somit um 480 °K erhitzt, wofür eine Energiemenge von circa 69 500 kJ erforderlich ist, was wiederum etwa zwei Liter Kraftstoff entspricht.

Eine Nutzung der Abgaswärme würde somit ein enormes Potenzial darstellen. Die Aufgabe besteht für den Entwickler somit darin, die Wärme in nutzbare mechanische oder elektrische Energie umzuwandeln, was zum Beispiel durch einen Gas- und/oder Dampfturbinenprozess erreicht werden könnte. Auch eine direkte Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie ist mit sogenannten thermoelektrischen Generatoren möglich.

## 3 Aktuelle Erfindungstrends

### 3.1 Maßnahmen im Motor

#### 3.1.1 Brennverfahren

Bezüglich der Entwicklung neuer Brennverfahren wird in der Fachwelt bereits seit einigen Jahren die homogene Selbstzündung diskutiert, welche auch als Homogeneous Charge Compression Ignition (kurz HCCI-Brennverfahren) bekannt ist. Ziel ist hierbei, die Vorteile eines Otto- und Diesel-Brennverfahrens zu vereinen. Niedrige NO<sub>x</sub>- und Rußemissionen sowie ein günstiger Kraftstoffverbrauch stellen hierbei eine interessante Alternative zu den bekannten Konzepten dar.

Ein Problem bei diesem Brennverfahren ist jedoch, die Selbstzündung zum gewünschten Zeitpunkt abhängig von einer Vielzahl hochdynamischer Randparameter wie zum Beispiel Druck und Temperatur im Brennraum genau und stabil zu steuern.

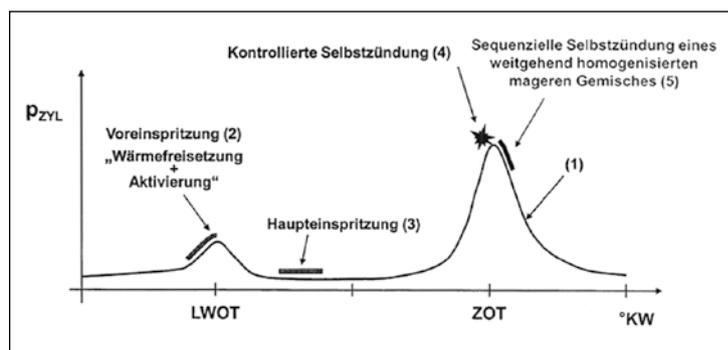
Die DE 10 2009 052 017 A1 stellt hierfür folgende Verfahrensschritte vor (Figur 1):

- Schließen des Auslassventils vor dem oberen Totpunkt (OT) des Ladungswechsels (LWOT)
- Einbringen einer Pilotmenge (2) von Kraftstoff in der Zwischenkompression und Kompression der Pilotmenge (2) und des Restabgases im Zylinder zur Bildung von Zwischenprodukten
- Öffnen des Einlassventils nach LWOT und Einbringen von Frischgas in der Ansaugphase in den Brennraum
- Einbringen der Hauptmenge (3) des Kraftstoffes in den Brennraum während der Ansaugphase und /oder der Hauptkompressionsphase und Schließen des Einlassventils
- Komprimieren des Frischgases und des Kraftstoffes in der Hauptkompressionsphase
- Zünden des im Brennraum gebildeten Gemisches aus Frischgas und Kraftstoff.

Der Lösungsansatz besteht hierbei in einer kontrollierten Umsetzung der Pilotmenge des Kraftstoffes in die Zwischenkompression durch folgende Verfahrensschritte:

- die Einbringung der Pilotmenge erfolgt spätestens zum LWOT,
- die Maximaltemperatur der Zwischenkompression ist durch Variation des Schließzeitpunktes des Auslassventils oder durch Variation des Öffnungszeitpunktes des Einlassventils einstellbar,
- die Masse der Pilotmenge ist variierbar.

Die Pilotmenge schafft somit für die Haupteinspritzung und anschließende kontrollierte Selbstzündung stabilere Verhältnisse.



Figur 1: HCCI-Brennverfahren (aus DE 10 2009 052 017 A1), Kurve des Zylinderdrucks aufgetragen über dem Kurbelwellenwinkel.

### 3.1.2 Aufladung

Die Turboaufladung von Pkw-Motoren hat zunächst Ende der 1980er-Jahre bei Dieselmotoren mit direkter Kraftstoffeinspritzung ihren Siegeszug angetreten. Mit Beginn des neuen Jahrtausends kamen Turbolader auch vermehrt in Ottomotoren zum Einsatz, was hauptsächlich erst durch neuartige Werkstoffe ermöglicht wurde.

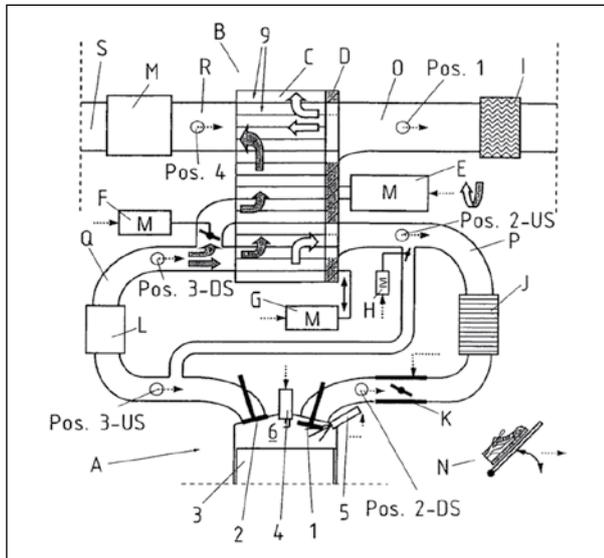
Nachteilig bei Turboladern ist aber nach wie vor das sogenannte „Turboloch“, das heißt ein zu geringes Drehmoment in unteren Drehzahlbereichen der Brennkraftmaschine, verursacht durch eine zu geringe Abgasenthalpie.

Neben einem mechanischen Kompressor, der wiederum den Nachteil hat, der Brennkraftmaschine mechanische Leistung zu entnehmen, war seit Jahrzehnten ein Druckwellenlader eine interessante Alternative. Ein größerer Serieneinsatz blieb aber bislang aufgrund der schwierigen Steuerung aus. Hierbei wird der Impuls einer Abgasstoßwelle genutzt, um Frischgas direkt ohne mechanische Kopplung zu komprimieren. Die Herausforderungen bei einem Druckwellenlader sind dabei die exakte zeitliche Steuerung in Abhängigkeit von Last und Drehzahl sowie die Vermeidung eines „Abgasdurchbruchs“ auf die Frischgasseite.

Die DE 10 2010 008 385 A1 löst diese Aufgabe dadurch, dass im Kaltgasgehäuse eine Steuerscheibe (D) zur Einstellung des Ladedrucks angeordnet ist (Figur 2). Diese Steuerscheibe hat radial über ihre Fläche verteilt Öffnungen, die auf der einen Seite die Zuführungs-

öffnung der angesaugten Frischluft beziehungsweise die Abführungsleitung der komprimierten Frischluft und auf der anderen Seite die Rotorzelleneintrittsbereiche miteinander verbindet. Die Stellung der Steuerscheibe legt die Dauer fest, wie lange die Druckwelle auf das zu verdichtende Fluid wirkt.

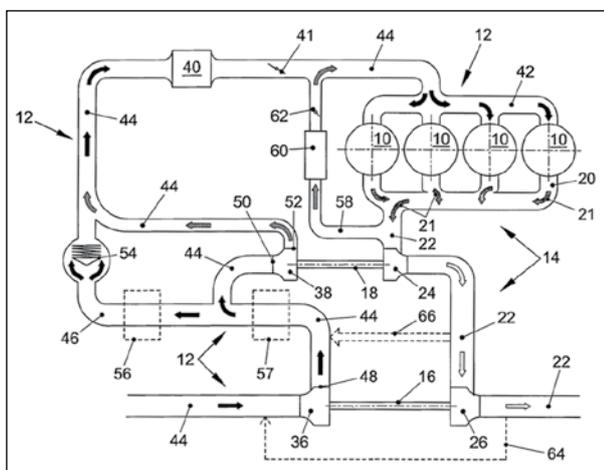
Darüber hinaus kann der Ladedruck über ein Gasaschenventil, über die Rotordrehzahl des Druckwellenladers und/oder mit einem Umluftventil eingestellt oder geregelt werden.



Figur 2 : Druckwellenlader (aus DE 10 2010 008 385 A1) mit D: Steuerscheibe, G: Steuerscheibenmotor, F: Motor für Gasaschenventil, H: Motor für Umluftventil.

Mit dem Thema Aufladung beschäftigt sich auch die DE 10 2010 010 480 A1, um Emissionen und Verbrauch weiter zu reduzieren.

Erreicht wird dieses Ziel durch eine zweistufige Aufladung, wobei mindestens eine der Turbinen eine verstellbare Turbinengeometrie (VTG) aufweist (Figur 3).



Figur 3: Zweistufige Aufladung mit verstellbarer Turbinengeometrie (VTG) (aus DE 10 2010 010 480 A1).

Dies hat den Vorteil, dass eine Brennkraftmaschine mit vereinfachtem Aufladesystem mit verringerter Anzahl von Stellgliedern zur Verfügung steht, da an derjenigen Turbine mit VTG auf einen Bypasskanal mit Bypassventil und/oder auf ein Wastegate mit Wastegateventil verzichtet werden kann. Diese Funktion wird durch ein entsprechendes Verstellen der VTG ohne weitere Zusatzbauteile realisiert.

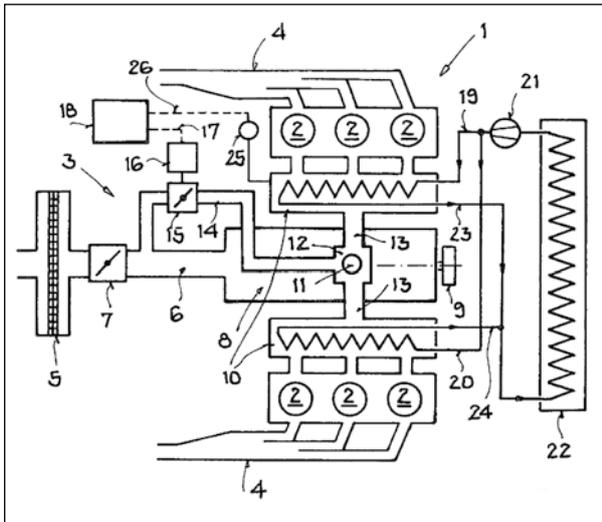
### 3.2 Maßnahmen an der Motorperipherie

Der Kaltstart einer Brennkraftmaschine stellt bezüglich Verbrauch und Emissionen eine schwierige Herausforderung an die Entwickler. So führen die niedrigen Bauteil- und Gastemperaturen zu einer ungünstigen Gemischbildung, außerdem kommt es zu einer Kondensation der Verbrennungszwischenprodukte und Verbrennungsendprodukte, was zu einer Erhöhung des Verbrauches und der Kohlenwasserstoffemissionen führt.

Die DE 10 2005 043 736 B4 stellt hierfür folgenden Lösungsansatz vor (Figur 4): Beim Kaltstart bleibt das Bypassventil (15) vollständig geschlossen, die gesamte Ansaugluft wird im Lader (8) komprimiert und dabei erwärmt. Die stromabwärts des Laders liegenden Ladeluftkühler (10) sind mit Kühlmittel durchströmt. Die Erfindung besteht insbesondere darin, dass durch ein Abschalten der Kühlmittelpumpe (21) während des Kaltstarts nicht nur eine schnelle Erwärmung erzielt wird, sondern darüber hinaus noch Energie eingespart wird. Diese Maßnahmen führen somit insgesamt zu einer Reduzierung von Verbrauch und Emissionen.

### 3.3 Maßnahmen im Triebstrang

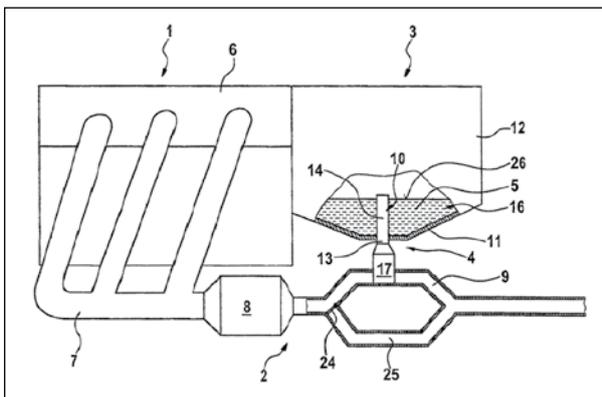
Es ist bekannt, dass Getriebeöl selbst bei sommerlichen Umgebungstemperaturen beim Kaltstart eine relative hohe Viskosität besitzt, was zu erheblichen Dissipationsverlusten führt. Es erklärt sich von selbst, dass dieser Effekt bei winterlichen Temperaturen oder in „Kaltländern“ noch deutlich stärker ausfällt.



Figur 4: Abschaltbare Kühlmittelpumpe im Kaltstart (aus DE 10 2005 043 736 B4).

Im Regelfall erwärmt sich das Getriebeöl einerseits durch die von der Dissipationsarbeit erzeugte Wärmemenge und andererseits geringfügig durch die vom Motor per Wärmeleitung durch das Gehäuse übertragene Wärmemenge. Dies kann, je nach Bauart und Fahrzustand, einen relativ langen Zeitraum in Anspruch nehmen.

Zur Lösung dieses Problems wird in der DE 10 2010 009 030 A1 vorgeschlagen, das Getriebeöl mit der Abwärme aus dem Abgasstrang aufzuheizen. Hierzu wird während der Aufheizphase im Abgasstrang mit einer Klappe (24) das heiße Abgas in den Strang (9) geleitet, wo die Wärme über einen Kontaktkopf (17) und ein Wärmeleitrohr (10) direkt in das Getriebeöl (5) geleitet wird (Figur 5). Nach Erreichen der Betriebs-



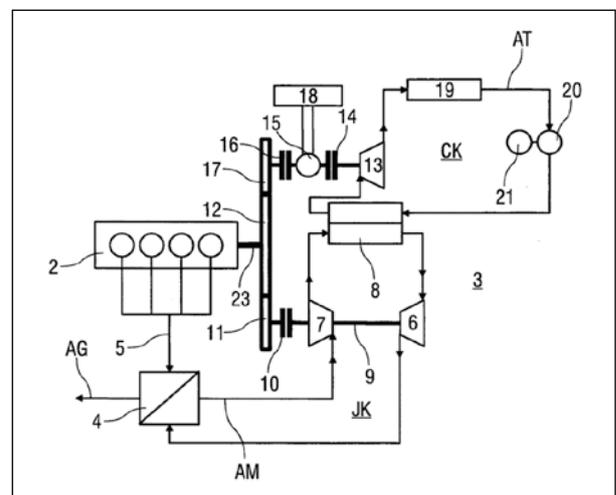
Figur 5: Aufheizung des Getriebeöls (aus DE 10 2010 009 030 A1).

temperatur schaltet die Klappe (24) um und leitet das Abgas durch den Strang (25). Das Wärmeleitrohr ist hierbei aus Werkstoffen mit einer guten Wärmeleitung gefertigt und gegebenenfalls auch mit einem wärmeleitenden Fluid gefüllt.

### 3.4 Maßnahmen im Abgasstrang

Wie bereits in Kapitel 2.5 aufgezeigt, bergen die Maßnahmen im Abgasstrang das höchste Einsparpotenzial. Aufgabe ist hierbei, die Energie von dem relativ drucklosen aber sehr warmen Abgas zu nutzen.

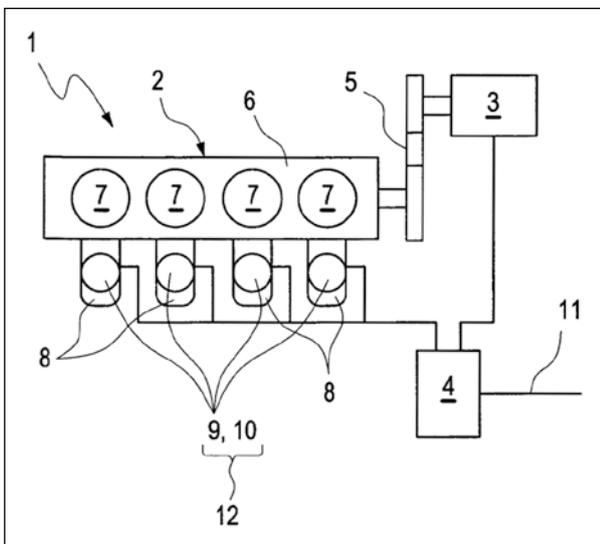
Einen Ansatz hierzu liefert die DE 10 2010 047 518 A1 (Figur 6). Im Abgasstrang (5) einer Brennkraftmaschine (2) befindet sich ein Wärmetauscher (4), welcher Wärme in einen ersten geschlossenen Gasturbinenprozess (JK) überträgt. Das Gas wird an der Turbine (7) unter Abgabe mechanischer Leistung entspannt. Die Turbine (7) gibt hierbei einerseits über eine Kupplung (10) und ein Getriebe (11) mechanische Leistung an den Fahrzeugantrieb und andererseits an den Verdichter (6) ab. Über einen Wärmetauscher (8) überträgt dieser erste geschlossene Gasturbinenprozess die restliche Wärmemenge an einen zweiten geschlossenen Dampfturbinenprozess (CK), in welchem die Turbine (13) eine Elektromaschine (15) antreibt. Die Elektromaschine (15) ist elektrisch mit einem herkömmlichen elektrischen Energiespeicher (18) verbunden. Über eine



Figur 6: Nutzung der Abgaswärme (aus DE 10 2010 047 518 A1).

entsprechende Schaltung der Kupplungen (14) und (16) kann die Elektromaschine auch Leistung an den Fahrzeugantrieb abgeben.

Die DE 10 2008 007 159 A1 (Figur 7) liefert einen ähnlichen Ansatz. Anstelle einer Gas- und Dampfturbine ist hier ein Stirlingmotor zur Nutzung der Abgaswärme vorgesehen. Die im Abgaskrümm器 angeordneten Stirlingmotoren (9) treiben jeweils einen elektrischen Generator (10) an, welche die elektrische Energie in der Batterie (4) speichern. Der Elektromotor (3), der von der Batterie (4) gespeist wird, kann wiederum mechanische Energie an den Fahrzeugantrieb abgeben.



Figur 7: Nutzung der Abgaswärme (aus DE 10 2008 007 159 A1).

#### 4 Ausblick

Trotz des Trends zu alternativen Antrieben wird der klassische Verbrennungsmotor noch viele Jahre als Antrieb in Pkw zum Einsatz kommen. Dies liegt einerseits an den bekannten Vorteilen (wie zum Beispiel der hohen Energiedichte des mitgeführten Energiespeichermediums) und andererseits an einem enormen Optimierungspotenzial einer klassischen Brennkraftmaschine.

Ob mittelfristig die eingangs erwähnte 25-prozentige Verbrauchs- und somit CO<sub>2</sub>-Reduktion erreicht werden kann, ist reine Spekulation. Dank vieler innovativer Lösungen, von denen hier nur eine kleine Auswahl als Momentaufnahme des aktuellen Standes der Technik vorgestellt werden konnte, scheint jedoch nach Einschätzung der Autoren eine weitere Verbrauchs- und somit CO<sub>2</sub>-Reduktion um sicherlich 5 bis 10% in den folgenden Jahren mehr als realistisch. Hierbei ist davon auszugehen, dass mit einer Kombination mehrerer Maßnahmen die Ziele erreicht werden können.

Bei einem weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 4,4 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> nur durch den Autoverkehr [3] würde eine Verbrauchs- und somit CO<sub>2</sub>-Reduktion um 10% immerhin 440 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> einsparen. Dies wäre ein erheblicher Beitrag zum Klimaschutz.

#### Literaturverzeichnis

- [1] taz.de: „Die Ökolüge vom Elektroauto“, 30.01.2012. URL: <http://www.taz.de/1/archiv/digitaz/artikel/?ressort=a1&dig=2012%2F01%2F30%2Fa0031&cHash=4e18f55306> [aufgerufen am 09.02.2012]
- [2] WOSCHNI, G.: Verbrennungsmotoren. Skriptum zur Vorlesung. TU München, Lehrstuhl und Institut für Verbrennungskraftfahrzeuge, 2. Aufl., München 1988.
- [3] UPI – Umwelt- und Prognose-Institut e.V.: Folgen einer globalen Massenmotorisierung, UPI-Bericht 35. URL: <http://www.upi-institut.de/upi35.htm> [aufgerufen am 09.02.2012]
- [4] Automobil-Industrie.Vogel.de: „Kälte halbiert Reichweite“, 17.02.2012. URL: <http://www.automobil-industrie.vogel.de/antrieb/articles/353772> [aufgerufen am 20.02.2012]

# Kraftfahrzeugventilsysteme zur direkten Kraftstoffeinspritzung

Dipl.-Ing. Gianni Monti, Patentabteilung 1.13

Aktuelle Patentanmeldungen mit internationaler Patentklassifikation F02M beinhalten neuartige Lösungen für die betriebsoptimierte Ausgestaltung von Einspritzsystemen zur direkten Bemengung von Kraftstoff in Brennräumen moderner Kraftfahrzeugantriebe. Dieser Beitrag zeigt vor allem Erfinderstrategien zur vorteilhaften Umsetzung einer Vielzahl von vergleichsweise „extremen“ Anforderungen bei der konstruktiven Ausgestaltung von Ventilsystemen zur Direkteinspritzung.

## 1 Einleitung

Aufgrund stetig steigender Kraftstoffpreise liegt der Fokus der Anforderungen an moderne Kraftfahrzeuge derzeit zunehmend auf der verbesserten Kraftstoffeinsparung bei Minimierung der Emissionswerte und Maximierung der verfügbaren Antriebsleistung. Diesbezüglich zielführend ist vor allem eine möglichst exakte sowie zeitlich und örtlich abgestimmte direkte Bemengung des Kraftstoffs in die Brennräume der Brennkraftmaschine. Ein solches Vorhaben ist eng mit der konstruktiven Ausgestaltung der Hauptelemente eines Kraftfahrzeugventilsystems zur Direkteinspritzung, der Direkteinspritzventile, verknüpft, wobei sowohl Eigenschaften der Ventilumgebung als auch des verwendeten Kraftstoffs auf umfassende Weise berücksichtigt werden müssen. Direkteinspritzventile münden direkt in den Brennraum der Brennkraftmaschine, weshalb sie einem relativ breiten und rasch veränderlichen Temperaturbereich ausgesetzt sind. Dieser Temperaturbereich hängt ursächlich in erster Linie von der Brennraumtemperatur ab und kann sich, gemäß möglichen Außenmindesttemperaturen, für bestimmte Teilbereiche der Direkteinspritzventile von zweistelligen Minusgraden bis deutlich über 200 °C erstrecken [1], wobei hohe Temperaturen am Einspritzventil bereits in wenigen Minuten erreicht werden können. Auch Wärmeanteile, die auf den Dosiervorgang an der Düsenaustrittsöffnung oder Abwärme der Aktorik

zurückzuführen sind, spielen eine Rolle. Zugunsten einer Minimierung der Einspritzzeiten und einer optimalen Verteilbarkeit des Kraftstoffs im Brennraum wird ein Betrieb des Einspritzsystems mit hohen Kraftstoffdrücken angestrebt. Einspritzdruckniveaus von über 2 000 bar stellen heutzutage für einen Betrieb im höheren Drehzahlbereich keine Seltenheit mehr dar [2]. Ausgehend von der Tatsache, dass der Einfluss von Hochdruck und Temperatur sich in Bezug auf eine bestimmte Bemengung des Kraftstoffs nicht nur auf Bauteile des Einspritzsystems sondern auch auf die Strömungseigenschaften des Kraftstoffs auswirkt, birgt die Konstruktion und Realisierung von Einspritzsystemen für moderne Kraftfahrzeuge eine facettenreiche Herausforderung.

## 2 Strategien zur vorteilhaften Ventilausgestaltung

Dem druck- und temperaturbedingten Einfluss auf direkte Einspritzvorgänge beim Betrieb von Brennkraftmaschinen moderner Fahrzeuge begegnet man zurzeit erfinderseitig vor allem mit folgenden Strategien:

- selbsttätige Kompensation von Formänderungen
- lokale Druckverminderung und zusätzliche Kühlungsmaßnahmen
- Reduzierung von Druckschwankungen
- Verbesserung von Strömungseigenschaften

Nachfolgend werden die wichtigsten Aspekte dieser Strategien erläutert.

### **2.1 Selbsttätige Kompensation von Formänderungen**

Die zur Bemengung von Kraftstoff im Brennraum erforderlichen Verschiebungswege des meist nadel- oder kugelförmig ausgestalteten Düsenkörpers fallen bei einem Betrieb eines Direkteinspritzventils mit hohen Kraftstoffdrücken relativ gering aus. Hierdurch ergeben sich bereits bei geringen temperatur- oder druckbedingten Formänderungen des Düsenkörpers oder der mit ihm in Verbindung stehenden Bauelemente deutliche Abweichungen der durch die Düsenaustrittsöffnung fließenden Kraftstoffmenge [3]. Solche Abweichungen können im Rahmen von aktiven Maßnahmen und daher mit höherem Aufwand verringert werden. Beispielsweise durch eine elektronische Regelung des eingesetzten mechanischen Wandler (häufig ein piezoelektrischer Aktor) oder aber durch eine auf passivem Wege wirkende selbstkompensierende Ausgestaltung der zur Kraftstoffbemengung beweglich angeordneten Baugruppe.

### **2.2 Lokale Druckminderung und zusätzliche Kühlungsmaßnahmen**

Ein weiterer Ansatz zur Reduzierung der über die bewegliche Baugruppe im Direkteinspritzventil zustande kommenden Kraftstoffbemengungsabweichungen hat die Verringerung der ursächlichen physikalischen Größen Druck und Temperatur zum Ziel [2]. Druckvermindernde konstruktive Maßnahmen werden aktuell mit dem Zweck einer Druckreduzierung oder eines Druckausgleichs im umliegenden Bereich des Düsenkörpers umgesetzt. Neben der Vermeidung von nachteiligen Deformationen sinken dadurch auch die Betätigungskräfte des Düsenkörpers, wodurch eine Aktorik mit höherer Empfindlichkeit eingesetzt werden kann und somit eine genauere Bemessung des Kraftstoffs möglich ist. Den unerwünschten Temperaturendehnungen der oben genannten

Bauteilgruppe werden unterschiedliche Kühlungsmaßnahmen entgegengesetzt. Zum einen werden die Ventile derart ausgestaltet, dass sie in besonders temperaturbelasteten Bereichen in direkten Kontakt mit Kühlflüssigkeiten gebracht werden können. Andererseits werden Bauteile so konstruiert, dass sie Kraftstoff führende Pfade bilden und somit einen möglichst großflächigen Wärmetransport über eine ohnehin im Injektor vorhandene Betriebsflüssigkeit ermöglichen. Temperatursenkungen können im Ventil auch durch aktive Regelung von Durchflussmengen der zur Kühlung vorgesehenen Flüssigkeit erreicht werden.

### **2.3 Reduzierung von Druckschwankungen**

Die periodisch auftretenden Übergangsphasen unmittelbar vor und nach den Dosierungsvorgängen beim Hochdruckbetrieb von Direkteinspritzventilen erzeugen Schwingungen, die sich nachteilig über das gesamte Einspritzsystem rückkoppeln. Neben unerwünschten Geräuschentwicklungen und gesteigerten Anforderungen zur Konstruktion des Einspritzsystems bewirken diese Schwingungen vor allem periodische Auslenkungen des Düsenkörpers und somit eine nur schwer zu bestimmende dynamische Abweichung der Kraftstoffbemengung. Ziel ist, bei der konstruktiven Ausgestaltung der Einspritzventile daher auch eine effektive schwingungsdämpfende Wirkung [4]. Erfinder sehen zurzeit Lösungen mit zusätzlichen Bauteilen oder zielführende Anordnungen von bereits vorhandenen Bauteilen vor.

### **2.4 Verbesserung von Strömungseigenschaften**

Eine ständige Herausforderung ergibt sich für die Erfinder bei der Optimierung der Kraftstoffströmung sowohl im Einspritzventil als auch im Brennraum. Die möglichst effektive zeitliche und örtliche Bemengung des Kraftstoffs hängt neben dem Druck und der Temperatur auch maßgeblich von der konstruktiven Ausgestaltung des zwischen dem Düsenkörper und der Mündungsstelle im Brennraum befindlichen Ven-

tilbereichs ab [5]. Unter Berücksichtigung der Kraftstoffigenschaften hat auch die geometrische Form und Anordnung der zur Abdichtung ausgebildeten Paarungsflächen des Düsen- und Ventilhauptkörpers einen wesentlichen Einfluss auf die erreichbare maximale Strömungsgeschwindigkeit, die maßgeblich für einen optimalen Zerstäubungsgrad und möglichst kurze Bemengungszeiten des Kraftstoffs im Brennraum ist. Die Verteilung des Kraftstoffnebels im Brennraum kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen und ist auch von der Form, Anzahl, Lage und Ausrichtung der Düsendurchgänge in den Brennraum abhängig, die meist einem Zwischenbereich nachgelagert sind, der häufig als Sackloch bezeichnet wird. Bei der Ausgestaltung des Zwischenbereichs, dessen Wandungen überwiegend hohen Temperaturen ausgesetzt sind, müssen strömungsbeeinflussende Kraftstoffablagerungen verhindert werden.

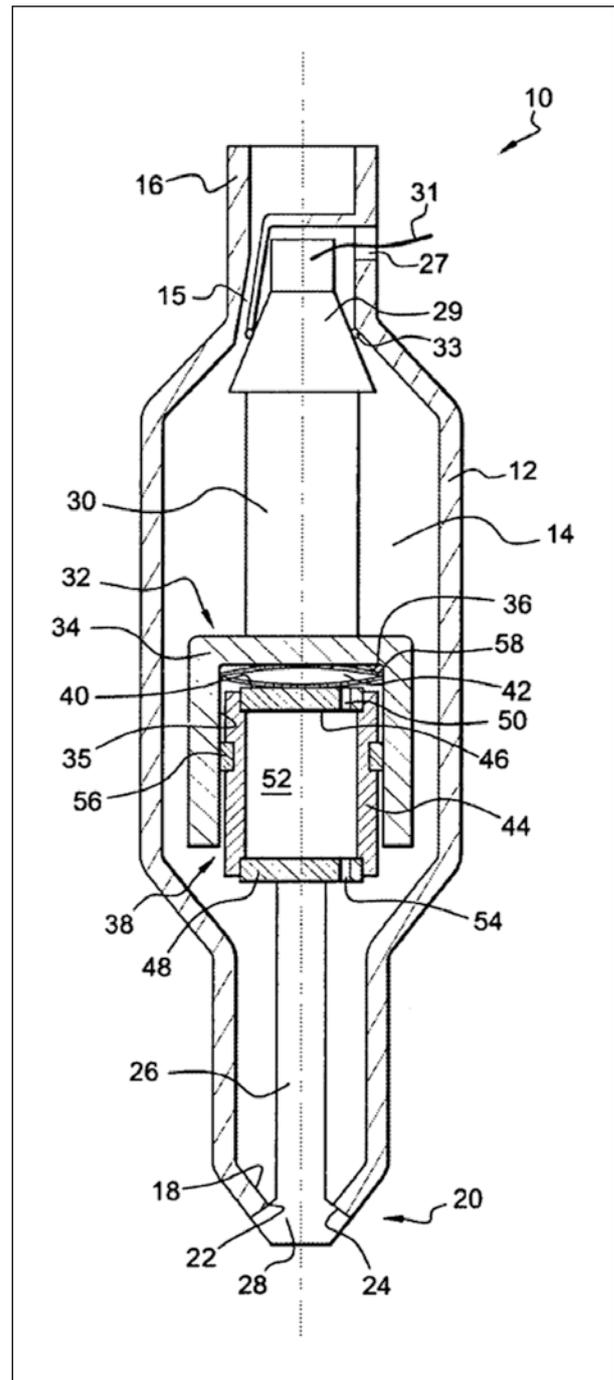
### 3 Aktuelle Erfindungsgegenstände

Anlehnend an die im vorangegangenen Abschnitt geschilderten Sachverhalte werden in diesem Kapitel ausgewählte Gegenstände aktueller Erfinderaktivitäten diskutiert.

#### 3.1 Kompensation durch adaptive Ausgestaltung

Ein interessantes Beispiel eines Direkteinspritzventils mit kompensierenden Bauteilen (siehe Figur 1) ist in der EP 2 273 099 B1 gezeigt. Eine unerwünschte temperatur-, druck- oder fertigungsbedingte Länge der Verschlusselemente 26, 28 oder des Ventilgehäuses 12 wird durch die Funktion eines mit einem Druckbolzen 38 versehenen Kompensationselements 32 ausgeglichen. Wenn der piezoelektrische Aktor 30 inaktiv ist, bewegt sich der Druckbolzen 38 aufgrund des Kraftstoffdrucks axial in die Bohrung 35 hinein, um einen ständigen Verschluss des Auslasses 22 zu ermöglichen. Bei Aktivierung des piezoelektrischen Aktors 30 wird eine Abwärtsbewegung des Kompensationselements 32 bewirkt. Aufgrund der Abdichtung 56 wird dann der zwischen dem Kompensa-

tionselement 32 und dem Druckbolzen 38 befindliche Kraftstoff ausschließlich über die Durchlässe 50, 54 verdrängt. Dieser Verdrängungsvorgang bewirkt eine steife Verbindung zwischen dem Kompensationselement 32 und dem Druckbolzen 38, die mit der selbsttätigen Aufrechterhaltung einer bestimmten Öffnungsfläche am Austritt 22 einhergeht.

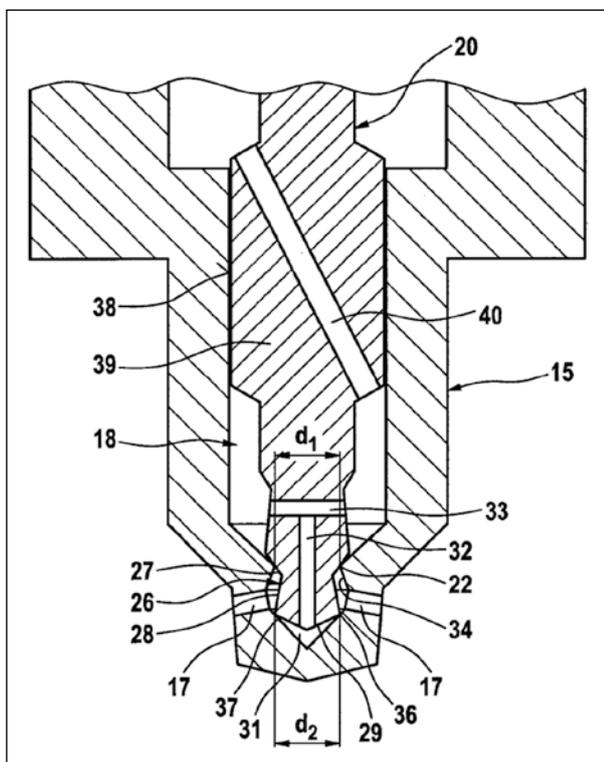


Figur 1: Direkteinspritzventil mit Kompensationselement (aus EP 2 273 099 B1).

Die US 8 113 179 B1 beinhaltet des Weiteren ein Direkt einspritzventil, bei dem ein indirekt mit einer Düsen nadel fest verbundenes magnetostriktives Festkörper element als Aktor und zur Kompensation von Abwei chungen der Kraftstoffbemengung dient. Der Aktor wird mittels jeweils einem am magnetostriktiven Ele ment befindlichen Solenoid zur Betätigung und zur Erfassung eines rückzuführenden druckabhängigen Signals mithilfe eines elektronischen Schaltkreises geregelt. In der DE 10 2009 046 356 A1 ist ein Direkt einspritzventil gezeigt, das temperaturbedingte Änderungen über ein zwischen einem Piezoaktor und einem mit einer Düsen nadel verbundenen Druckbolzen angebrachten Übergangsstück mit Dichthülse ausgleicht.

### 3.2 Maßnahmen zur Druckreduzierung und zur Temperatursenkung

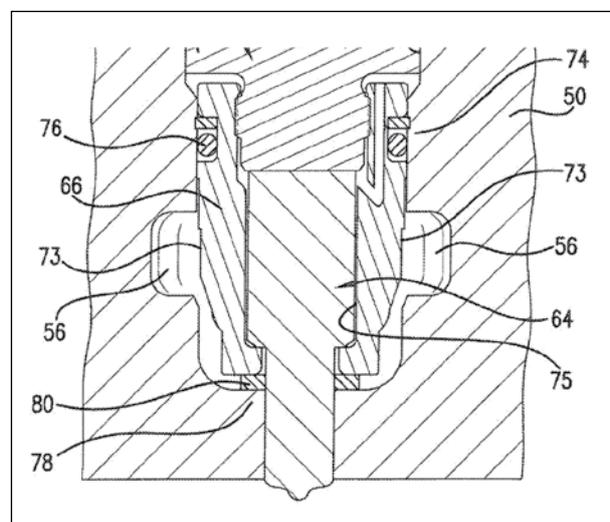
Vorteilhafte konstruktive Ausgestaltungen zur Druckreduzierung innerhalb eines Direkteinspritzventils sind in der DE 10 2010 040 401 A1 veranschaulicht. In Figur 2 ist ein solches Direkteinspritzventil 10 gezeigt,



Figur 2: Direkteinspritzventil mit Ausgleichsöffnungen an der Düsen nadel (aus DE 10 2010 040 401 A1).

das eine in seiner axialen Richtung verschiebbare stiftförmige Düsen nadel 20 aufweist, die innerhalb einer mehrstufigen Sacklochbohrung 16 angeordnet ist, um eine Hochdruckleitung 11 mit einem an den Durchlassöffnungen 17 befindlichen Raum fluidisch zu verbinden oder davon zu trennen. Eine mechanische Entlastung der stiftförmigen Düsen nadel 20 wird durch die Durchlassöffnungen 32, 33, 40 erreicht, die einen Druckausgleich zwischen der Hochdruckleitung 11 und dem Hochdruckraum 18 sowie dem Hochdruck-Speichervolumen 31 ermöglichen.

Eine Ausführungsform des in der DE 10 2011 000 540 A1 offenbarten Direkteinspritzventils bewerkstelligt eine angemessenen Druckminderung der mit dem Düsenkörper verbundenen Steuerkammer. Hierzu wird eine Verbindung der Steuerkammer über einen mit einer Blende versehenen Durchgang zu einer am Ventil angeschlossenen Hochdruckleitung vorgesehene. Hinsichtlich von Maßnahmen zur Vermeidung von unerwünschten Temperaturschwankungen schlägt die WO 2012/006141 A2 ein Kühlsystem für ein Direkteinspritzventil vor. Die Kühlung wird durch eine Veränderung eines Volumens zur Führung von kühlendem Kraftstoff, welches durch die im Ventil befindlichen ringförmigen Bereiche gegeben ist, ermöglicht. Die WO 2012/021709 A1 zeigt die Ausgestaltung eines Direkteinspritzventils (siehe Figur 3), deren Teilkörper 66 in direktem Kontakt mit einer Kühlflüssigkeit sind, die den Hohlraum



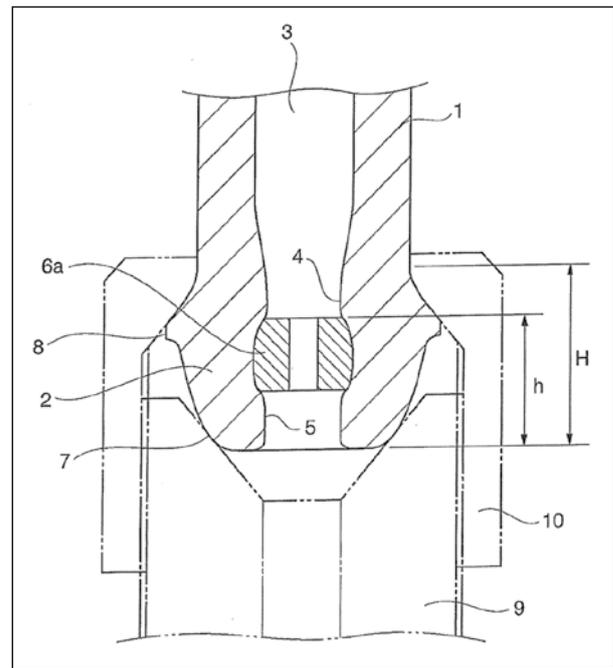
Figur 3: Direkt gekühltes Einspritzventil (aus WO 2012/021709 A1).

56 durchströmt. Der zur Einspritzung vorgesehene Kraftstoffpfad wird gegenüber der Kühlflüssigkeit mithilfe der Dichtelemente 76, 80 abgedichtet. Diese Maßnahme ermöglicht eine effektive Kühlung des Ventils in Brennraumnähe. Zusätzliche thermische Belastungen der im oberen Teil des Ventils angebrachten Komponenten können somit weitgehend vermieden werden. Auch ein unmittelbarer Kontakt der Dichtungen 76, 80 mit der Kühlflüssigkeit vermindert deren temperaturbedingte Alterung.

### 3.3 Vermeidung von Druckschwankungen

Zur Reduzierung von Druckschwankungen ist im Direkteinspritzventil gemäß der DE 20 2010 017 350 U1 ein zusätzliches Dämpfungselement beigelegt. Dieses ist auf vorteilhafte Weise unmittelbar am Entstehungsort der Druckschwankungen, das heißt in einem Kraftstoffpfadbereich unmittelbar vor den Düsenauslässen, befestigt. Die Dämpfungswirkung entsteht dabei durch Einsatz eines porösen Materials. Die US 2012/0043393 A1 zeigt ein Direkteinspritzventil, in dem im Kraftstoffpfad eine zusätzliche Hochdruckkammer zwischengeschaltet ist. Durch diese Kammer ist das Volumen des Kraftstoffpfades wesentlich größer als das Volumen der eingespritzten Kraftstoffmenge, wodurch eine verbesserte Schwingungsdämpfung erreicht wird. Ein weiterer bemerkenswerter Ansatz ist in der EP 2 420 666 A1 veranschaulicht. Figur 4 zeigt einen Ventilanschluss 10 am Ventilkopf 9. Der Ventilanschluss 10 ist derart ausgebildet, dass eine besonders ausgestaltete Hochdruckleitung 1 angeschlossen werden kann. Die Hochdruckleitung 1 weist am ventileitigen Ende spezielle Innenkonturierungen 4, 5 und Außenkonturierungen 7, 8 auf. Zur Schwingungsdämpfung ist zwischen 4 und 5 ein Blendenelement 6a befestigt. Die schwingungsdämpfende Wirkung wird zum einen von den senkrecht zur Kraftstoffströmung befindlichen Blendenflächen und zum anderen durch die streuende Wirkung der Blendenöffnung erreicht. Ein wesentlicher Vorteil dieser Konstruktionsweise ist, dass eine gute Schwingungsdämpfung mit relativ

einfachen Herstellungsmaßnahmen am Ventil und an der Kraftstoffleitung erreicht wird.

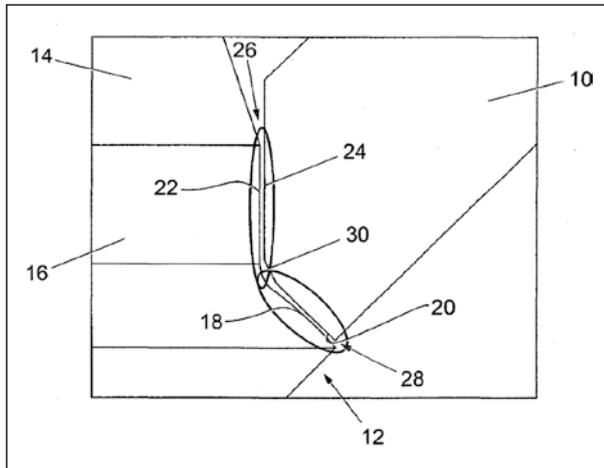


Figur 4: Direkteinspritzventil mit Kraftstoffanschluss zur Schwingungsdämpfung (aus EP 2 420 666 A1).

### 3.4 Beeinflussung der Strömungsverläufe

Zur vorteilhaften Verteilung des Kraftstoffs im Brennraum ist die Auslassöffnung am Düsenaustritt eines in der EP 2 097 636 B1 dargestellten Kraftstoffventils gemäß der Darstellung in Figur 5 gestaltet. Die Auslassöffnung 12 ergibt sich aus der relativen Lage eines Bereichs 16 des Düsenkörpers 14 gegenüber der Lage des Ventilhauptkörpers 10. Diese relative Lage kann durch eine Verschiebung in axialer Richtung des Ventils zugunsten einer bestimmten Bemengung von Kraftstoff verändert werden. Die im Wesentlichen gerade verlaufenden Wandungen 22, 24 und 18, 20 der Auslassöffnung sind zueinander in einem bestimmten Winkel ausgerichtet und durch den un stetigen Bereich 30 miteinander verbunden. Im un stetigen Bereich 30 bilden sich Kavitationseffekte, die entsprechend der momentanen Auslassöffnungsfläche ausgeprägt sind, wodurch eine genauere Bemengung des Kraftstoffs unter Beibehaltung guter Zerstäubungseigenschaften

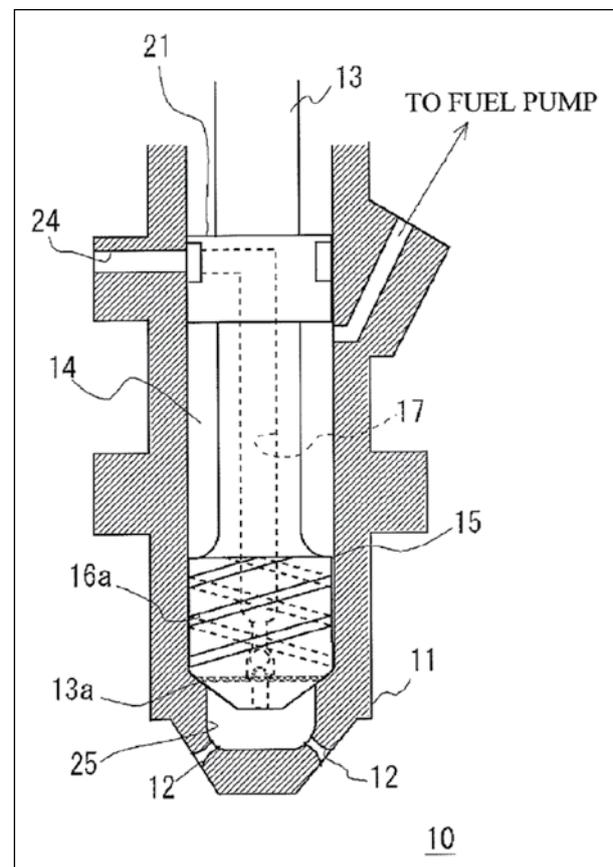
ermöglicht wird. Auch bleibt die Strömungsgeschwindigkeit des Kraftstoffs zwischen den Bereichen 26 und 28 nahezu unverändert.



Figur 5: Unstetiger Düsenöffnungsbereich eines Direkteinspritzventils (aus EP 2 097 636 B1).

Die EP 1 505 342 B1 offenbart unterschiedlich geformte und zur Direkteinspritzung vorgesehene Ventilsitze für den Düsenkörper, die durch Überleitung einer laminaren Kraftstoffströmung in einen Kavitationsbereich eine optimierte Zumengung von Kraftstoff in den Brennraum ermöglichen. Einen verbesserten Düsenkörper, mit dem sich Streuungen in der Einspritzrate verringern lassen, offenbart das Direkteinspritzventil aus der DE 10 2010 026 687 A1. Ein Vorteil ergibt sich bei dieser Ventilausgestaltung aus der abschnittswisen Realisierung der Umfangswand des Sacklochs mit in bestimmter Relation zueinander stehenden Steigungen unterschiedlicher Beträge. Das Direkteinspritzventil aus der US 2012/0000996 A1 verspricht eine besonders effektive Zerstäubung des Kraftstoffs im Brennraum. Dies wird durch uniforme Zumengung von gleichartigen Luftbläschen im Kraftstofffluss bewirkt. Als Folge dieser Zumengung weisen die zerstäubten Kraftstoffpartikel im Brennraum eine nahezu gleichbleibende Größe auf. Das Direkteinspritzventil (siehe Figur 6) beinhaltet einen Düsenkörper 13, der einen bestimmten Oberflächenabschnitt mit spiralförmig verlaufenden Ausnehmungen 16a aufweist. Bei einer Öffnungstellung des Düsenkörpers 13 strömt Kraftstoff

über die spiralförmigen Ausnehmungen 16 aus der Hochdruckkammer 14 mit einem bestimmten Drall in die Ausgleichskammer 25. Dem Kraftstoff in der Ausgleichskammer 25 wird über eine im Ventilkörper verlaufende Bohrung Druckluft zugemengt, die sich aufgrund des geringeren Drucks und durch die Drallbewegung des Kraftstoffs in Form von Bläschen gleichmäßig im Kraftstoff verteilen kann. Beim Austritt des Kraftstoffs in den Brennraum verursacht das Platzen dieser Bläschen eine Verbesserung der Zerstäubung.



Figur 6: Direkteinspritzventil mit strukturiertem Düsenkörper (aus US 2012/0000996 A1)

Ein Direkteinspritzventil mit acht radial verteilten Düsenöffnungen ist schließlich in der JP 2012 021 509 A erklärt. Zur verbesserten Bemengung des Kraftstoffs in den Brennraum sind die Düsenöffnungen, die den Einlassventilen zugewandt sind, mit einer geringeren Öffnungsfläche realisiert als die Düsenöffnungen die den Auslassventilen zugewandt sind.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Zum Zweck der Kraftstoffeinsparung und Emissionsverringerung bei zumindest gleichbleibender Leistung gelten für den Kraftfahrzeugbereich strikte Anforderungen zur möglichst genauen sowie zeitlich und örtlich optimierten Bemessung von Kraftstoff in den Brennraum von Brennkraftmaschinen. Die in diesem Beitrag gezeigten strategiebezogenen Gegenstände aktueller Erfinderaktivitäten betreffen Ventilsysteme zur Direkteinspritzung, die aus konstruktiver Sicht höchst unterschiedlichen technischen Ansätzen zugeordnet sind. Einerseits wird angestrebt druck- und temperaturbedingte Abweichungen zu beseitigen, andererseits wird rege an der Verbesserung von strömungstechnischen Aspekten gearbeitet. Die Vielfalt der Anmeldungsgegenstände lässt zukünftig weitere spannende konstruktive Maßnahmen der Erfinder zur Verbesserung von Direkteinspritzventilen erwarten, vor allem hinsichtlich stetig steigender Kraftstoffpreise und möglichen Verschärfungen der gesetzlichen Emissionsregelungen.

## Referenzen

- [1] VAN BASSHUYSEN, R.; SCHÄFER, F.: Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven. Wiesbaden: Vieweg, 2005. - ISBN 3834805497
- [2] VAN BASSHUYSEN, R.: Ottomotor mit Direkteinspritzung: Verfahren, Systeme, Entwicklung, Potenzial. Wiesbaden: Vieweg, 2007. - ISBN 3834802026
- [3] MEHLFELDT, D.: Modellierung und optimale Steuerung piezoelektrisch aktuierter Einspritzventile. Dissertation der Universität Siegen, 2006
- [4] SCHÖPPE, D. [et al.]: Common-Rail-Einspritzung mit Direct-Acting-Injektor von Delphi. Motortechnische Zeitschrift (MTZ) 10, Jahrgang 69, pp. 842-851, 2008. - ISSN 0024-8525
- [5] GOLDLÜCKE, J. [et al.]: Optical-Flow-Methode zur Strömungsanalyse in der motorischen Verbrennung. Motortechnische Zeitschrift (MTZ) 11, Jahrgang 72, pp. 902-907, 2011. - ISSN 0024-8525

# On-Board-Diagnose von Abgasnachbehandlungssystemen

Dr. Bettina Kuhn, Patentabteilung 1.52

In der aktuellen Patentliteratur zu On-Board-Diagnose-Systemen von Abgasnachbehandlungssystemen von Diesel-Brennkraftmaschinen werden zunehmend komplexe Steuergerätefunktionen und neue Abgassensoren eingesetzt. Dieser Beitrag beinhaltet eine Auswahl an Beispielen zur Überwachung von Oxidationskatalysatoren, SCR-Katalysatoren (Selective Catalytic Reduction) und Dieselpartikelfiltern für den Einsatz in Personenkraftwagen.

## 1 Einleitung

Unter der On-Board-Diagnose (OBD) versteht man ein im Fahrzeug integriertes Diagnosesystem. Ihren Ursprung hat die On-Board-Diagnose im US-Bundesstaat Kalifornien im Jahr 1988, als die dort zuständige Behörde für die Luftreinhaltung, das „Californian Air Resources Board“ (CARB), neben einer Verschärfung der Emissionsgrenzen für Benzinfahrzeuge auch die Selbstüberwachung wichtiger Fahrzeugfunktionalitäten in ihre Regularien aufgenommen hat.

Emissionsgrenzwerte sind heute weltweit Treiber für Neuentwicklungen im Bereich der Antriebstechnik, vor allem in der Abgasnachbehandlung von Verbrennungsmotoren. Ein sich ständig weiter entwickelnder Bedarf an Diagnosesystemen wächst mit, da große Teile der Emissionsgesetzgebung nicht mehr nur auf Grenzwertangaben im Neuzustand abzielen. Eine stetige Überwachung der Emissionsgrenzen im Fahrbetrieb über die Lebensdauer und eine daraus resultierende Überwachung aller abgasrelevanten Komponenten an Bord des Fahrzeugs ist verpflichtend. Einen hohen Zusatznutzen für die Fehlersuche bieten vor allem Überwachungssysteme einzelner Komponenten, da der Defekt einer Komponente bereits an Bord identifiziert werden kann. Gegebenenfalls können auch Folgeschäden an Bauteilen durch entsprechende Frühwarnsysteme vermieden werden.

Dieser Artikel stellt innovative Lösungen von Systemen und Strategien zur On-Board-Diagnose von Abgasnachbehandlungssystemen von Verbrennungskraftmaschinen aus der aktuellen Patentliteratur vor, die insbesondere in Diesel-Personenkraftwagen Anwendung finden.

## 2 Emissionen und gesetzliche Anforderungen für Diesel-Pkw

### 2.1 Entstehung der Schadstoffe

Bei vollständiger Verbrennung von Dieselmotorkraftstoff, der vereinfacht als Kohlenwasserstoffgemisch ( $C_xH_y$ ) betrachtet werden kann, bleiben nach der theoretischen Annahme einer Verbrennung mit möglichst schadstoffarmer Emission im Wesentlichen Sauerstoff ( $O_2$ ), Stickstoff ( $N_2$ ), Kohlendioxid ( $CO_2$ ) und Wasserdampf ( $H_2O$ ) im Abgas zurück.

Bei der realen und damit unvollständigen Verbrennung von Diesel entstehen zusätzlich die Schadstoffkomponenten Kohlenmonoxid (CO), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide ( $NO$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O$ ) und Partikel (bestehend aus Ruß, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und anorganischen Bestandteilen).

## 2.2 Schadstoffgrenzwerte (Gesetzgebung der Europäischen Union)

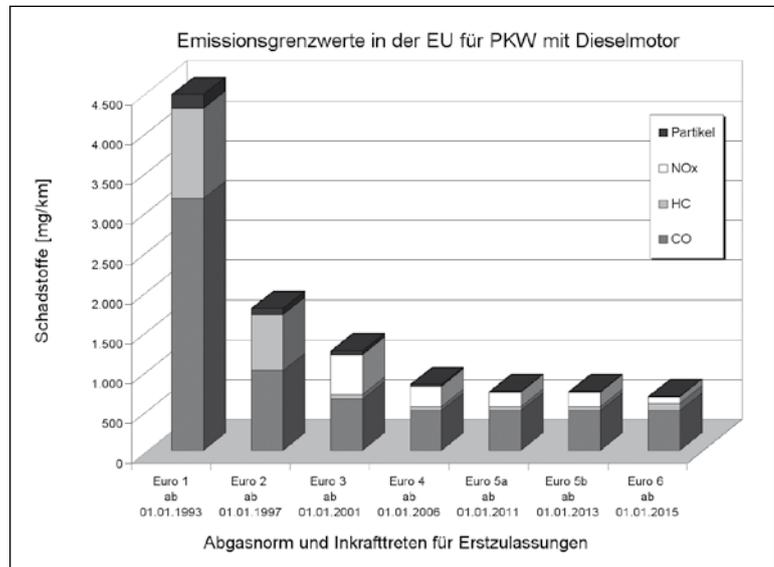
Die Emissionsgesetzgebung (siehe Figur 1) legt Grenzwerte für diese Schadstoffkomponenten fest [1]. Ab der Abgasstufe Euro 5b wird neben der Partikelmasse auch die Partikelanzahl mit einem Grenzwert von  $6 \times 10^{11}/\text{km}$  beschränkt. Dabei wird erstmals berücksichtigt, dass besonders kleine Partikel, die zur Masse wenig beitragen, lungengängig sind und sich besonders gesundheitsschädlich auswirken. Zusätzlich zu den Grenzwerten für die in Figur 1 dargestellten Schadstoffkomponenten in mg/km wurde Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) dabei lange Zeit nicht als Schadstoff bewertet. Seit dem 1. Juli 2009 sind die  $\text{CO}_2$ -Emissionen neben dem Hubraum des Motors Bemessungsgrundlage für die Kraftfahrzeugsteuer [2].

Figur 1 zeigt die Entwicklung der Abgasgesetzgebung für Diesel-Personenkraftwagen in der Europäischen Union. Es wird deutlich, dass die in jüngster Zeit stark angestiegenen Anforderungen neue Technologien zur Optimierung der Verbrennungsprozesse und der Abgasnachbehandlung erforderlich machen.

Neben den eigentlichen Grenzwerten für einzelne Schadstoffe nach den Euro-Stufen müssen seit dem 01. 01. 2005 alle Personenkraftwagen mit Dieselmotor über ein OBD-System verfügen [3].

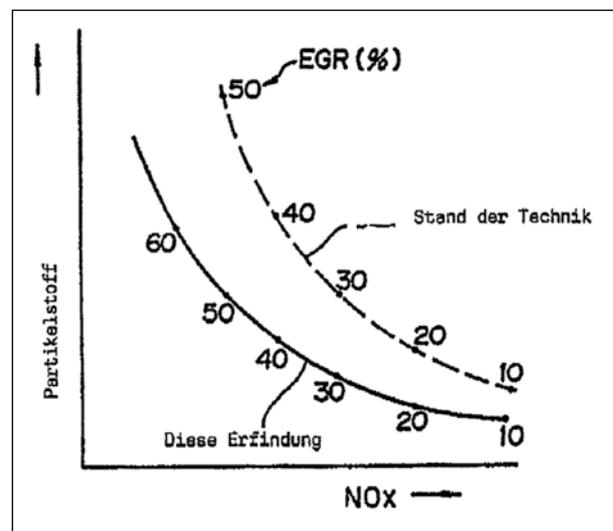
## 2.3 Verminderung der Schadstoffemissionen bei Diesel-Personenkraftwägen

Neben der innermotorischen Minimierung der genannten Schadstoffe und der  $\text{CO}_2$ -Reduktion durch effizientere Motoren (wirkungsgradoptimierte Brennvorfahren) bei der Dieselverbrennung ist der Zielkonflikt der  $\text{NO}_x$ - und Rußemissionen bei der Abstimmung des Motors ein wichtiger Aspekt (vergleiche Figur 2).



Figur 1: Emissionsgrenzwerte in der Europäischen Union für Personenkraftwagen mit Dieselmotor bis Euro 6 basierend auf den Zahlen aus [1].

Die Bildung der beiden Schadstoffe „ $\text{NO}_x$ “ und Ruß ist gegenläufig [4]. Da Ruß vorwiegend bei niedrigen Verbrennungstemperaturen entsteht,  $\text{NO}_x$  dagegen bei hohen, ist es allein durch Optimierung der Verbrennung nicht möglich, gleichzeitig beide Schadstoffe zu minimieren. Dies erklärt den Bedarf am Nachbehandeln des Abgases.



Figur 2: Zielkonflikt zwischen Ruß- und Stickoxid-Emissionen (DE 691 027 45 T2).

### 3 Komponenten des Abgasnachbehandlungssystems mit OBD

Eine Recherche nach aktuellen Themen in der Patentliteratur im Bereich der Diesel-Brennkraftmaschinen zeigt, dass die On-Board-Diagnose der folgenden Komponenten von Abgasnachbehandlungssystemen besonders stark im Fokus steht:

- Oxidationskatalysatoren
- Dieselpartikelfilter
- SCR-Katalysatoren
- Harnstoffdosiermodule für SCR-Katalysatoren
- NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysatoren
- Tanküberwachung von Harnstofftanks

Daraus resultiert ein großer Bedarf an zuverlässigen Sensoren für Abgasnachbehandlungssysteme, wie zum Beispiel

- Lambdasonden, NO<sub>x</sub>-Sensoren, Kohlenwasserstoff-Sensoren, Ammoniakensoren, Rußsensoren
- Temperatursensoren
- Differenzdrucksensoren zur Diesel-Partikelfilterüberwachung
- Harnstofffüllstands- und Harnstoffqualitäts-sensoren.

Die Systemüberwachung erfolgt üblicherweise über den Vergleich von im Steuergerät abgelegten Kennfeld-Daten mit den tatsächlichen Messwerten. Weichen die gemessenen Werte von den Vorgaben ab, wird ein Fehler in den OBD-Speicher geschrieben und an der Instrumententafel angezeigt. Dort befindet sich ein Symbol für die OBD, die sogenannte „Malfunction Indicator Lamp“ (MIL; deutsch: Fehlfunktionsanzeige). Durch eine genormte Schnittstelle ist der Diagnose-speicher mit entsprechenden Geräten auslesbar.

Die Abgastechnologie war im Bereich der Fahrzeug-technik im Jahr 2011 mit 1375 Offenlegungen von Anmeldungen mit Wirkung für die Bundesrepublik Deutschland vertreten, was ihre Relevanz unterstreicht [5]. Dabei wurden die IPC-Klassen F01N 3, F01N 5, F01N 9, F01N 11 und F02D 41 bis F02D 45 berücksichtigt und die Offenlegungen des Deutschen Patent- und

Markenamtes und des Europäischen Patentamtes unter Vermeidung von Doppelzählungen summiert. Im Folgenden wird eine Auswahl an Beispielen zu On-Board-Diagnosesystemen für die Abgasnachbehandlung aus der aktuellen Patentliteratur näher beschrieben. Die anmeldenden Firmen sind meist Automobilhersteller und Zulieferer der Kraftfahrzeug-Branche.

#### 3.1 Überwachung eines Oxidationskatalysators

Unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid werden beim Dieselmotor mithilfe eines Oxidationskatalysators umgesetzt. Ein Verfahren zum Betreiben eines Oxidationskatalysators mit On-Board-Diagnosefunktion geht aus der Anmeldung DE 10 2009 045 883 A1 hervor.

Oxidationskatalysatoren dienen durch die exotherme Umsetzung von Kraftstoff auch gezielt zum Aufheizen des Abgases. Dies geschieht entweder durch Nacheinspritzung(en) von Kraftstoff in den Brennraum oder durch eine Dosiervorrichtung zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Oxidationskatalysator. Der Oxidationskatalysator wird meist durch Temperatursensoren überwacht, wobei ein für eine umgesetzte Kraftstoffmenge erwarteter Temperaturwert mit dem tatsächlich gemessenen Wert hinter dem Oxidationskatalysator verglichen wird. Die Zuordnung eines Fehlers zum Oxidationskatalysator ist dabei nicht ganz eindeutig, da auch ein Fehler bei der eingespritzten Kraftstoffmenge vorliegen kann.

Die Anmeldung schlägt zur Lösung dieses Problems vor, die Funktion des Oxidationskatalysators eindeutig zu prüfen. Bei Vorliegen einer Fehlfunktion (Ausbleiben des Temperaturanstiegs hinter dem Oxidationskatalysator) nach Einspritzen von Kraftstoff mithilfe einer Dosiervorrichtung wird in einem zweiten Diagnoseintervall eine nachgelagerte Einspritzung des Motors verwendet, um eine Temperaturerhöhung im Abgasstrang zu erzeugen. Erreicht der Istwert der Temperatur den Erwartungswert hinter dem Oxidationskatalysator in diesem Diagnoseintervall, kann der Fehler der Dosiereinheit zugeordnet werden, anderenfalls dem Oxidationskatalysator.

### 3.2 Überwachung eines SCR-Katalysators

Stickoxide ( $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}$ ) aus dem Dieselabgas werden häufig mithilfe eines SCR-Katalysators in der Abgasanlage zu Stickstoff und Wasser umgewandelt. Dabei wird Ammoniak benötigt, der zuvor in einem Hydrolysekatalysator unter Eindosierung von Harnstoffwasserlösung generiert wird. Aus der Offenlegungsschrift DE 10 2009 024 782 A1 geht eine Messanordnung zum Bestimmen der Wirkungsfähigkeit eines SCR-Katalysators hervor, wobei mit einem Sensorelement der Wassergehalt hinter dem SCR-Katalysator detektiert wird.

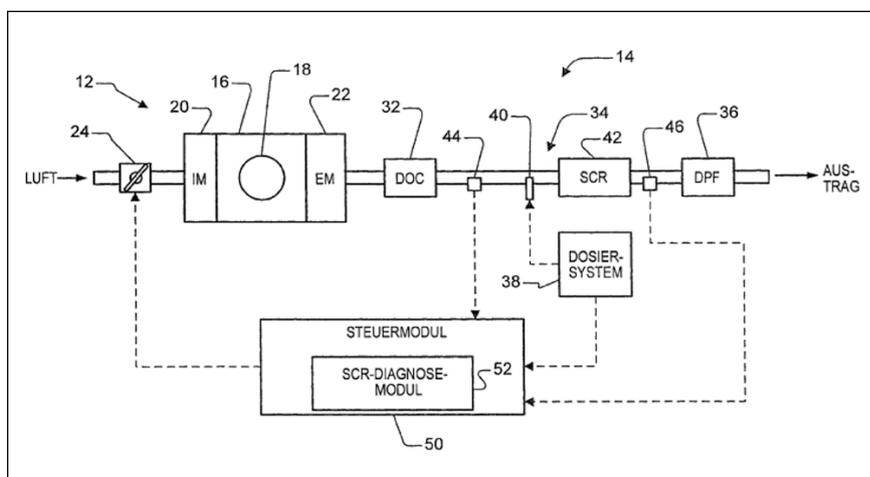
Ein gealterter oder defekter Katalysator weist eine verringerte Anzahl von Sorptionsplätzen auf, und ein Wasserdurchbruch und damit ein Erfassen von flüssigem Wasser stromabwärts des Katalysators finden früher statt als dies eine Modellrechnung prognostiziert. Durch Bestimmen der Zeitspanne vom Kaltstart der Verbrennungsmaschine bis zum Vorliegen von flüssigem Wasser stromabwärts kann auf die Wirkungsfähigkeit des SCR-Katalysators geschlossen werden (DE 10 2009 024 782 A1).

Eine alternative Methode zur Diagnose eines SCR-Katalysators ist in der Offenlegungsschrift DE 10 2009 058 003 A1 beschrieben, wobei diese Methode je ein Stickoxid ( $\text{NO}_x$ )-Sensor vor und hinter dem SCR-Katalysator erforderlich macht. Der erste  $\text{NO}_x$ -Sensor stromaufwärts des SCR-Katalysators erfasst die Rohemission

an Stickoxiden. Der zweite Sensor stromabwärts des SCR-Katalysators bestimmt die Konzentration von  $\text{NO}_x$  und  $\text{NH}_3$  auf Basis der Querempfindlichkeit des  $\text{NO}_x$ -Sensors für  $\text{NH}_3$ . Die zweite Konzentration entspricht damit einer kombinierten Konzentration von  $\text{NO}_x$  und  $\text{NH}_3$ . Das Fehlerbestimmungsmodul diagnostiziert einen Funktionsdefekt des SCR-Katalysators, wenn die zweite Konzentration größer als die erste Konzentration ist. Das Fehlerbestimmungsmodul diagnostiziert eine schlechte Qualität des Dosiermittels, wenn die zweite Konzentration innerhalb eines Bereiches der ersten Konzentration liegt. Diese Diagnose zeigt damit den zusätzlichen Nutzen, zwischen einem defekten SCR-Katalysator und mangelnder Qualität der zudosierten Harnstoffwasserlösung zu differenzieren (DE 10 2009 058 003 A1).

Figur 3 zeigt den Aufbau der Vorrichtung aus der DE 10 2009 058 003 A1 mit einem SCR-Diagnose-Modul als Auswerteeinheit.

Das SCR-System 34 umfasst ein Dosiersystem 38, einen Injektor 40 und eine SCR-Vorrichtung 42. Das Dosiersystem 38 injiziert ein Reagenz (zum Beispiel Harnstoffwasserlösung) in das Abgas stromaufwärts der SCR-Vorrichtung 42 mithilfe des Injektors 40. Harnstoff wird durch thermische Zersetzung in Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) umgewandelt. Der  $\text{NH}_3$  stellt das Reduktionsmittel dar, das mit  $\text{NO}_x$  über einen Katalysator in der SCR-Vorrichtung 42 reagiert, um  $\text{NO}_x$  zu reduzieren.



Die beiden  $\text{NO}_x$ -Sensoren 44 und 26 erfassen die Konzentration von  $\text{NO}_x$  beziehungsweise  $\text{NO}_x/\text{NH}_3$ , und liefern ein Signal zur Plausibilisierung an das SCR-Diagnosemodul.

Figur 3: Funktionsblockschaubild eines beispielhaften Fahrzeugsystems, das zwei  $\text{NO}_x$ -Sensoren und ein Diagnosemodul zur Auswertung und Interpretation der Messwerte umfasst (DE 10 2009 058 003 A1).

### 3.3 Überwachung eines Dieselpartikelfilters (DPF)

Zur Verminderung der Rußemission werden häufig Filtersysteme, sogenannte Diesel-Partikelfilter eingesetzt, die den Ruß zurückhalten. Man unterscheidet im Wesentlichen zwei Arten von Diesel-Partikelfiltern (DPFs), solche mit kontinuierlicher Regeneration und solche die nach Erreichen eines bestimmten Beladungszustandes regeneriert werden müssen. Abhängig von der Betriebsart des Fahrzeugs sind beide Regenerationsstrategien erforderlich. Die Funktionstüchtigkeit des DPFs ist besonders wichtig, da neben dem Überschreiten der Partikelgrenzwerte ein besonders hohes Risiko besteht, bei voll beladenem Filter mit zu hohem Abgasgegendruck einen Motorschaden herbeizuführen. Im Folgenden werden drei Beispiele für On-Board-Diagnose-Strategien von Dieselpartikelfiltern näher erläutert.

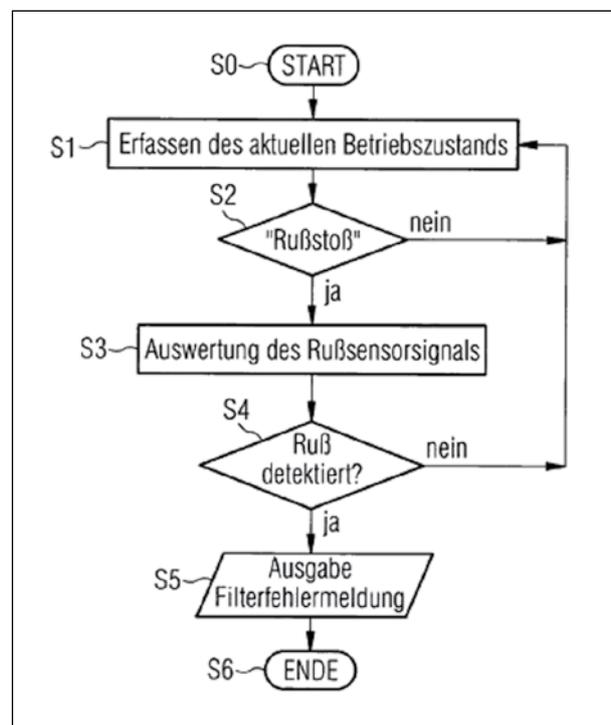
Die Offenlegungsschrift DE 10 2006 029 990 A1 beschreibt ein Diagnosesystem eines Dieselpartikelfilters, bei dem der Partikelfilter-Wirkungsgrad bestimmt wird. Zur Bestimmung des Partikelstromstromaufwärts des DPFs dient dabei ein Modell, das anhand von Motordaten den Partikelstrom berechnet. Stromabwärts des DPFs wird der Partikelstrom mithilfe eines Partikelsensors gemessen. Durch die Überwachung des DPFs kann mit diesem Verfahren auch die On-Board-Diagnose des Partikelgrenzwertes durchgeführt werden (DE 10 2006 029 990 A1).

Aus der Patentschrift DE 10 2007 059 523 B4 geht ein Diagnoseverfahren für einen Dieselpartikelfilter hervor, bei dem die Diagnose in einer Regenerationsphase des Partikelfilters durchgeführt wird. In der Regenerationsphase wird die Temperatur des Filters auf etwa 650 °C erhöht. Dadurch wird ein Abbrand der durch den Filter ausgefilterten und in diesem angesammelten Partikel erreicht. Die Temperaturerhöhung wird dabei üblicherweise durch entsprechende Kraftstoffeinspritzungen, beispielsweise Nacheinspritzungen, innermotorisch oder im Abgasstrang bewirkt. Da für die regelmäßig erfolgenden Regenerationsphasen somit ohnehin Kraftstoffeinspritzungen erfolgen, kön-

nen diese Einspritzungen in besonders einfacher Weise auch für die Diagnose des Filters mitgenutzt werden.

Erfindungsgemäß wird die Tatsache ausgenutzt, dass sich bei einem Defekt des Partikelfilters, beispielsweise einem Loch im Filter, die Kohlenwasserstoff-Emission hinter dem Partikelfilter bei einer Kraftstoffeinspritzung deutlich erhöht, da der zum Beispiel mit Platin beschichtete Filter die Kohlenwasserstoffe (HC) nicht mehr, wie vorher, vollständig oxidiert. Anhand einer solchen ungewöhnlichen Erhöhung der HC-Emission in Abgasströmungsrichtung hinter dem Filter bei einer Kraftstoffeinspritzung kann der Wirkungsgrad des Filters ermittelt und auf einen Defekt des Filters geschlossen werden. Sofern der mit dem HC-Sensor zu der Kraftstoffeinspritzung gemessene Kohlenwasserstoff-Wert eine geringe Höhe aufweist, wird dagegen kein Defekt diagnostiziert (DE 10 2007 059 523 B4).

Die Offenlegungsschrift DE 10 2008 015 256 A1 (vergleiche Figur 4) schlägt ein Diagnosesystem für einen DPF 2 vor, bei dem eine signifikant ansteigende Partikel-Rohemission mithilfe eines Partikelsensors 3 hinter dem DPF erfasst wird.



Figur 4: Diagnoseverfahren in Form eines Ablaufdiagramms (DE 10 2008 015 256 A1).

Die Idee dieses Systems ist es, die Transmission eines gegebenenfalls durch den Fahrer herbeigeführten Partikelstoßes stromabwärts des Partikelfilters mit einem Partikelsensor zu erfassen. Kommt der Partikelstoß hinter dem Filter am Partikelsensor an, kann auf den Defekt des Filters geschlossen werden.

Die Empfindlichkeit des erforderlichen Partikelsensors kann für diese Anwendung relativ gering ausfallen (DE 10 2008 015 256 A1).

#### 4 Fazit

Zur Reduzierung der schädlichen Emissionen von Diesel-Brennkraftmaschinen besteht ein hoher Bedarf an effizienten, zuverlässigen und kostengünstigen Verfahren zur Abgasnachbehandlung, die neben ihrer eigentlichen Funktion auch die bauteilscharfe On-Board-Diagnose zulassen. Es zeigt sich, dass vor allem der Bedarf an zuverlässigen Sensoren und die Anforderungen an komplexe Steuergerätfunktionen steigen und der Abgasstrang bereits heute ein komplexes System darstellt.

Ein zusätzlicher Nutzen der On-Board-Diagnose ist der Bauteilschutz, da Folgeschäden durch defekte Einzelkomponenten vermeidbar werden.

Gleichzeitig werden die Anforderungen an die Lebensdauer einzelner Komponenten erhöht, da durch die On-Board-Diagnose auch etwaige Mängel in der Haltbarkeit einfacher erkannt werden können.

#### Literatur

- [1] DieselNet: Grenzwerte für Schadstoffemissionen von Pkw, Revision 2012/03  
URL: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php> [abgerufen am 07.05.2012]
- [2] Kraftfahrzeugsteuergesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3818), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 27. Mai 2010 (BGBl. I S. 668) geändert

worden ist. URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/kraftstg/gesamt.pdf> [abgerufen am 07.05.2012]

- [3] ROKOSCH, U.: On-Board-Diagnose und moderne Abgasnachbehandlung. 1. Auflage Würzburg: Vogel Buchverlag, 2006. S. 197-211. – ISBN 3-8343-3002-7
- [4] PECK, R.S.: Experimentelle Untersuchung und dynamische Simulation von Oxidations-Katalysatoren und Diesel-Partikelfiltern. Dissertation Universität Stuttgart, 2007. S. 5-7
- [5] DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT (Hrsg.): Jahresbericht 2011. München, 2012. S. 12

# Konzepte stufenloser Getriebe (CVT)

Dr. Robert Fehling, Patentabteilung 1.11

Getriebe mit stufenloser Übersetzungsänderung werden in unterschiedlichen Kraftfahrzeugmodellen eingesetzt. Es werden drei Getriebetypen vorgestellt, deren Gemeinsamkeit die reibschlüssige Kraftübertragung mit einem zwischen Antrieb und Abtrieb wirkenden Übertragungselement ist.

## 1 Einleitung

In der Fahrzeugtechnik werden in den letzten Jahren verstärkt Getriebe mit stufenloser Übersetzungsänderung angeboten. Ein Grund hierfür ist der Komfortgewinn, der durch ein durchgängiges Beschleunigen entsteht. Bei gewöhnlichen Handschaltgetrieben muss zum Gangwechsel die Motorkraft abgekoppelt werden. Es entsteht ein Rucken, das durch die Zugkraftunterbrechung hervorgerufen wird. Auf unterhaltsame Weise wurde diese Problematik in einem Auto-Werbespot 2001 anhand eines in der Hüfte beweglichen „Wackel-Elvis“ zur Werbung für ein Fahrzeug mit stufenlosem Getriebe in Szene gesetzt [1]. Im Folgenden werden Konzepte für solche Getriebe mit stufenloser Übersetzung (englisch: Continuous Variable Transmission, kurz: CVT) vorgestellt.

## 2 Gemeinsames Grundprinzip

Allen hier vorgestellten Getriebekonzepten ist gemeinsam, dass es sich um reibschlüssige Getriebe handelt. Dies bedeutet, dass die Kraftübertragung allein durch Reibungskraft erfolgt. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass formschlüssige Getriebe (zum Beispiel Zahnradgetriebe) aus prinzipiellen Gründen keine stufenlose Übersetzung zulassen, wie in [2, 3] analytisch gezeigt wird.

Eine weitere Gemeinsamkeit ist, dass die Übersetzungsänderung auf dem gleichen Grundprinzip beruht: Das mit der Antriebswelle des Getriebes verbundene Antriebselement kommt mit einem Übertragungselement auf einem Radius  $r_{an}$  in Kontakt. Die Abtriebswelle ist mit einem Abtriebsselement verbunden, das mit dem

Übertragungselement auf einem Radius  $r_{ab}$  in Kontakt ist. Über Verstellmittel können die Kontaktpunkte des Übertragungselements mit den An- und Abtriebsselementen verändert werden, so dass sich die Radien  $r_{an}$  und  $r_{ab}$  verändern. Die Übersetzung  $i$  des Getriebes berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$i = r_{an} / r_{ab} \quad (1)$$

Im Folgenden werden verschiedene Konzepte vorgestellt, bei denen dieses Grundprinzip realisiert ist. Die Auswahl der Konzepte erfolgte anhand der Anzahl der vorliegenden Patentdokumente. Es lag dabei die Annahme zugrunde, dass die wirtschaftlich interessantesten Getriebekonzepte sich in den höheren Anmeldezahlen widerspiegeln.

## 3 Toroidgetriebe

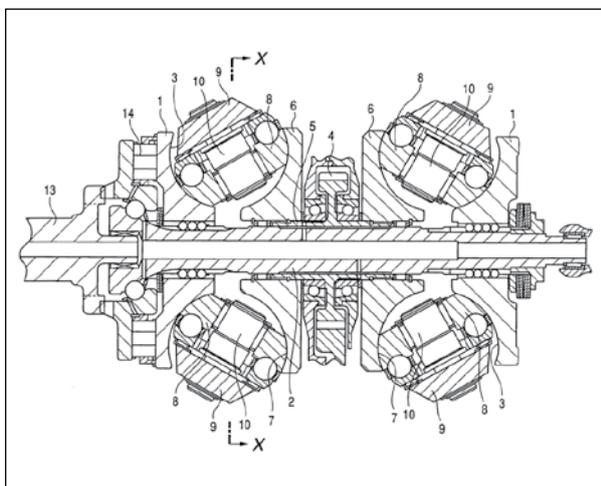
Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts wurden die ersten Anmeldungen zu Toroidgetrieben veröffentlicht. Das erste Patent erschien am 01.01.1901 in den Vereinigten Staaten von Amerika (US 665 355 A). Die erste deutschsprachige Veröffentlichung erfolgte am 28.12.1903 in Österreich (AT 14 511 B). In Zusammenhang mit einem Automobylantrieb wird das Toroidgetriebe erstmalig 1905 in der französischen FR 352 628 A beschrieben. Für die Funktionsbeschreibung wird jedoch auf die aktuellere Druckschrift DE 10 2008 026 862 A1 zurückgegriffen. In Figur 1 ist ein Schnitt in Axialrichtung durch das Toroidgetriebe dargestellt.

Der Antrieb erfolgt durch die Antriebswelle 13 auf der linken Seite der Figur. Das Drehmoment wird

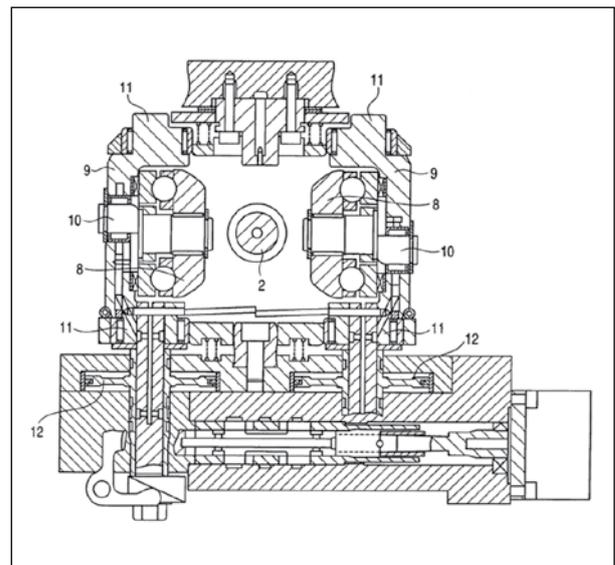
über einen Anpressmechanismus 14 auf die beiden Antriebsscheiben 1, die über die Antriebswelle 2 miteinander verbunden sind, übertragen. Von den Antriebsscheiben 1 wird das Drehmoment über Reibrollen 8 auf die beiden Abtriebsscheiben 6 übertragen. Diese sind über die Hohlwelle 5 miteinander verbunden. Gleichzeitig wird über das mit der Hohlwelle 5 verbundene Abtriebszahnrad 4 das Drehmoment aus dem Getriebe geleitet.

Auf den Innenseiten der An- und Abtriebsscheiben 1 beziehungsweise 6 ist im Schnitt eine kreisförmige Oberfläche zu erkennen. Durch den rotationssymmetrischen Aufbau der An- und Abtriebsscheiben 1 beziehungsweise 6 ergibt sich hier die namensgebende Toroidform (lateinisch: torus: „Wulst“). In Figur 1 ist der Berührungspunkt der Reibrolle 8 auf der Antriebsscheibe 1 auf einem kleineren Radius als der Berührungspunkt der Reibrolle 8 auf der Abtriebsscheibe 6, so dass die Ausgangsscheibe 6 mit geringerer Umdrehungszahl umläuft als die Antriebsscheibe 1. Über eine Verdrehung der Drehachsen 10 der Reibrollen 8 in der Zeichenebene können die Berührungspunkte der Reibrolle mit den An- und Abtriebsscheiben verändert werden.

Der Anpressmechanismus 14 erzeugt innerhalb des Toroidgetriebes den nötigen Anpressdruck, damit an den Berührungspunkten der Reibrolle das Drehmoment reibschlüssig übertragen werden kann.



Figur 1: Schnitt eines Toroidgetriebes in Axialrichtung aus DE 10 2008 026 862 A1.



Figur 2: Schnitt durch das Toroidgetriebe von Figur 1 senkrecht zur Antriebswelle 2 durch die Schnittlinie X-X in Figur 1 aus DE 10 2008 026 862 A1.

In Figur 2 ist ein Verstellmechanismus für die Reibrollen dargestellt. Dazu wurde durch das Toroidgetriebe ein Schnitt entlang der in Figur 1 eingezeichneten Linie X-X gelegt.

Es ist zu erkennen, dass die Reibrollen 8 über Exzenterzapfen 10 drehbar in Schwenkzapfen 9 gelagert sind. Zur Verstellung der Übersetzung werden durch die Aktuatoren 12 die Schwenkzapfen in deren Axialrichtung verschoben. Dadurch verlagern sich die Berührungspunkte und es entsteht im Eingriff der Reibrolle mit den An- und Abtriebsscheiben eine Verdrehung um die Schwenkwellen 11. Damit ändern sich dann die Radien  $r_{an}$  und  $r_{ab}$  aus Gleichung (1) auf denen die Berührungspunkte der Reibrolle mit den Toroidscheiben 1, 6 in Kontakt kommen. Diese Verstellung muss für alle Reibrollen synchron erfolgen. Hierzu werden die Schwenkzapfen 9 in einem gemeinsamen Joch gelagert und über eine Synchronisierungseinrichtung (zum Beispiel mit Riemen) miteinander verbunden.

Die Anmeldungen der letzten Jahre befassen sich, ausgehend vom vorgestellten Grundprinzip, mit der Weiterbildung der Baugruppen. Hierbei sind die An- und Abtriebsscheiben und Reibrollen im Hinblick auf Material- und Herstellungsfragen ein Schwerpunkt. Weitere Entwicklungsschwerpunkte sind die

Gestaltung des Schwenkzapfens, des Jochs und die Schmierung des Getriebes. Während im Jahr 2003 noch etwa die Hälfte der Veröffentlichungen von deutschen Anmeldern stammte, erfolgten die Anmeldungen der Jahre 2009 und 2010 hauptsächlich von amerikanischen und japanischen Anmeldern. Auf die Erstellung der Statistik wird im Abschnitt 5 näher eingegangen. Für weitere Informationen wird auf die Patentdokumente der Patentklasse F16H 15/38 verwiesen. Da sich darin viele englischsprachige Dokumente befinden, wird in der Tabelle für die spezifischen Begriffe der Toroidgetriebe eine Übersetzungshilfe gegeben.

#### 4 Umschlingungsgetriebe

Bei den Umschlingungsgetrieben wird das Drehmoment über ein Umschlingungsmittel übertragen. Dieses Umschlingungsmittel kann eine oder beide Wellen des Getriebes umschlingen. Im Folgenden werden zwei Beispieltypen für diese Umschlingungsgetriebe dargestellt.

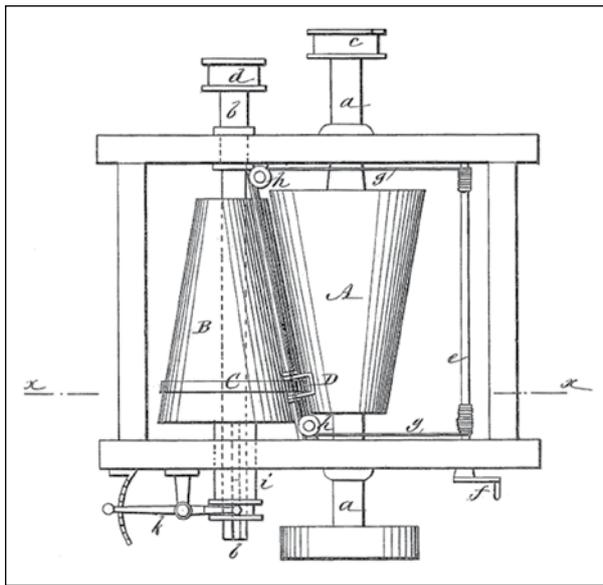
##### 4.1 Kegelreibringgetriebe

Wird das Umschlingungsmittel um eine der Wellen gelegt, so verläuft dieses zwangsläufig zwischen der Antriebswelle und der Abtriebswelle. Anhand der Figuren 3 und 4, die aus der ersten zu diesem Getriebetyp veröffentlichten Patentschrift US 299 231 A vom 27. Mai 1884 stammen, ist das Prinzip bereits erkennbar. In Figur 3 ist eine Aufsicht auf das Getriebe und in Figur 4 ein Schnitt durch das Getriebe an der Stelle des Umschlingungsmittels dargestellt.

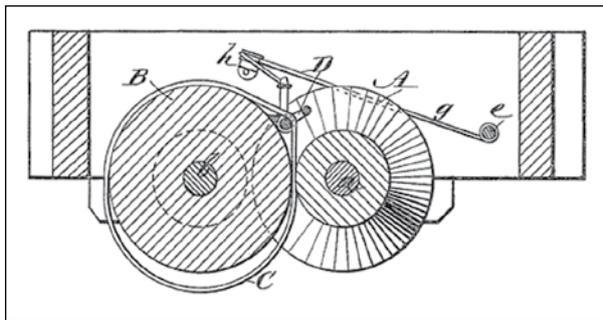
Das Drehmoment wird vom antreibenden Kegel A über das Übertragungsmittel, dem endlosen Band C, auf den Kegel B übertragen. Dabei sind die Achsen a, b der Kegel A, B parallel in einem Abstand angeordnet, so dass sich die Kegel A und B nicht direkt berühren können. Die Kegelwinkel öffnen sich in entgegengesetzten Richtungen. Die Position des Übertragungsmittels C legt dabei fest, bei welchen Radien der Kegel das Drehmoment übertragen wird. Aufgrund dieser Radien kann dann die Übersetzung des Getriebes nach Gleichung (1) bestimmt werden.

Tabelle: deutsche und englische im Fachgebiet gebräuchliche Bauteilbenennungen bei Toroidgetrieben; Bezugszeichen zu DE 10 2008 026 862 A1 (Figuren 1 und 2).

| Bezugszeichen | Deutsch                          | Englisch             |
|---------------|----------------------------------|----------------------|
| 1             | Antriebsscheibe, Eingangsscheibe | Input-side disk      |
| 2             | Antriebswelle                    | Input rotary shaft   |
| 3             | Kontaktfläche                    | Inner surface        |
| 4             | Abtriebszahnrad                  | Output gear          |
| 5             | Ausgangswelle                    | Output cylinder      |
| 6             | Abtriebsscheibe, Ausgangsscheibe | Output-side disk     |
| 7             | Kontaktfläche der Reibrolle      | Inner surface        |
| 8             | Reibrolle                        | Power roller         |
| 9             | Haltebügel, Schwenkzapfen        | Trunnion             |
| 10            | Exzenterzapfen                   | Support shaft        |
| 11            | Schwenkwellen                    | Tilting shaft        |
| 12            | Aktuator (hier: hydraulisch)     | Actuator, hydraulic  |
| 13            | Antriebswelle                    | (torque) input shaft |
| 14            | Anpressmechanismus               | Loading cam          |
|               | Kugelkeilwellenverbindung        | Ball spline          |



Figur 3: Aufsicht auf ein Kegelreibringgetriebe aus US 299 231 A.



Figur 4: Schnitt durch das Kegelreibringgetriebe entlang der Schnittlinie X-X in Figur 4 aus US 299 231 A.

Über einen Führungsmechanismus kann die Position des Übertragungsmittels C zwischen den Kegeln A und B mittels eines Trägerelements D parallel zu den Kegeloberflächen verändert werden. In Figur 4 erfolgt die Verstellung durch Drehen der Kurbel f, wodurch ein Seil g auf der Welle e auf- beziehungsweise abgewickelt wird und dadurch das daran befestigte Trägerelement D verschoben wird. Zur sicheren Drehmomentübertragung kann der Kegel B mit dem Hebel k in Axialrichtung bewegt werden. Auf diese Weise wird der Anpressdruck geregelt, der auf das Übertragungsmittel C in den Kontaktpunkten wirkt.

Dieses Grundprinzip kommt auch bei den aktuellen Anmeldungen zum Einsatz. Dabei werden zu allen beschriebenen Bauteilen Verbesserungen erzielt:

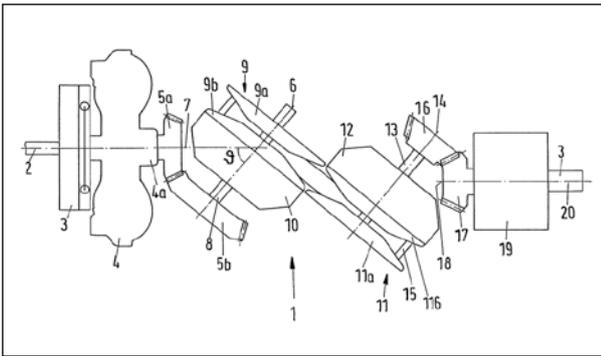
- Bei den Kegeln kann die Oberflächengestalt auch von dem geraden Kegelmantel abweichen, solange die Oberflächen der Kegel in gleichbleibendem Abstand verlaufen.
- Das Übertragungsmittel wird in Hinblick auf Material und Profil weitergebildet.
- Für die Anpressung können verschiedene Mechanismen wie Hydraulik, Federn oder drehmomentabhängige Rampenmechaniken eingesetzt werden.
- Aufgrund der heutzutage höheren Leistungen werden Kühlmittel, insbesondere sogenannte Traktionsöle, eingesetzt.
- In Zusammenhang mit den Kühlmitteln wird auch die Gehäusegestaltung in den Fokus gerückt, da die Traktionsöle für die Übertragung des Drehmoments optimale Eigenschaften besitzen, jedoch zur Schmierung anderer Maschinenbauteile wie beispielsweise Lager nicht geeignet sind. So müssen getrennte Schmierräume für das Kegelreibringgetriebe und die sich daran anschließenden Getriebeteile vorgesehen werden.

Im Zeitraum ab dem Jahr 2000 bis 2011 geht nahezu die Hälfte der Veröffentlichungen der zugehörigen Patentklasse F16H 15/42 auf deutsche Anmelder zurück, wobei ein Einzelanmelder etwa ein Drittel der Veröffentlichungen ausmacht. Ein weiteres Drittel der Veröffentlichungen stammt von japanischen Anmeldern.

## 4.2 Verstellriemengetriebe

Bei den Verstellriemengetrieben sind die Antriebswelle und die Abtriebswelle innerhalb des Umschlingungsmittels angeordnet. Ein grundsätzlicher Aufbau einer Antriebseinheit für ein Kraftfahrzeug ist in Figur 5 dargestellt.

In der Mitte der Figur 5 ist das Verstellriemengetriebe zu erkennen. Von der Antriebswelle 2 wird das Drehmoment des Motors über einen Torsionsschwingungsdämpfer 3, ein Anfahrlement 4 (zum Beispiel eine Kupplung oder ein Wandler) und die Verzahnung 5a, 5b in das eigentliche stufenlose Getriebe eingeleitet. Mit der Welle 8 wird das Drehmoment auf die antreibenden Kegelscheiben 9a, 9b übertragen.

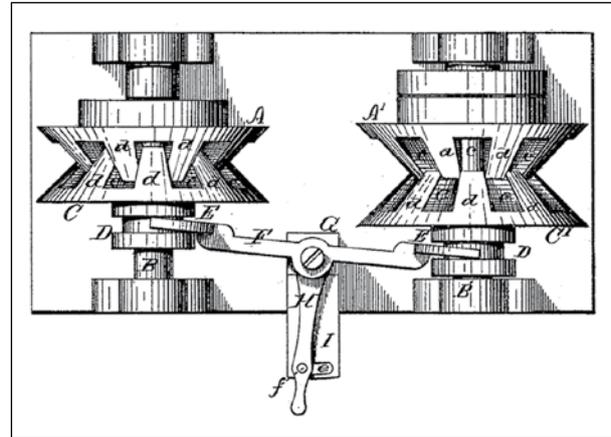


Figur 5: Verstellriemengetriebe für ein Kraftfahrzeug aus der DE 196 50 448 A1.

Zwischen den Kegelscheiben 9a und 9b axial eingespannt verläuft das Umschlingungsmittel 15 auf dem Radius  $r_{an}$ . Über das Umschlingungsmittel 15 wird das Drehmoment auf das Kegelscheibenpaar 11 auf dem Radius  $r_{ab}$  übertragen. Die Kegelscheibenpaare 9, 11 befinden sich auf zueinander parallelen Achsen 6, 14. Eine weitere Verzahnungsstufe 16, 17 leitet das Drehmoment schließlich (über einen für Rückwärtsfahrten notwendigen Wendesatz 19) zur Abtriebswelle 20 der Antriebseinheit.

Im stufenlosen Getriebeteil sind die Länge des Umschlingungsmittels 15 und der Achsabstand der Achsen 6 und 14 der Kegelscheibenpaare konstant. Über die Stellmittel 10, 12 wird der Abstand der Kegelscheiben zur Änderung der Übersetzung verstellt. Dabei wandert das Umschlingungsmittel, das eine konstante Breite besitzt, mit abnehmendem Abstand der Kegelscheiben 9a, 9b nach außen. Das Drehmoment wird auf dem Radius  $r_{an}$  übertragen. Über das Stellmittel 12 wird der Kegelscheibenabstand des Scheibenpaars 11 so eingestellt, dass das Umschlingungsmittel 15 gespannt ist und auf dem Radius  $r_{ab}$  läuft. Die Übersetzung berechnet sich – wie bei den anderen vorgestellten Getriebetypen – nach Gleichung (1).

Wichtige Fragestellungen bei diesem Getriebetyp sind die Auswahl des Umschlingungsmittels, die Gestaltung der Kegelscheiben und die Steuerung des Abstands der Kegelscheiben. Bereits die erste auf diesem Gebiet zu findende Patentschrift US 179 746 A aus dem Jahr 1876 beschäftigt sich mit der Einstellung des Scheibenabstands. In Figur 6 ist hierzu ein Mechanismus (ohne das Umschlingungsmittel) dargestellt.



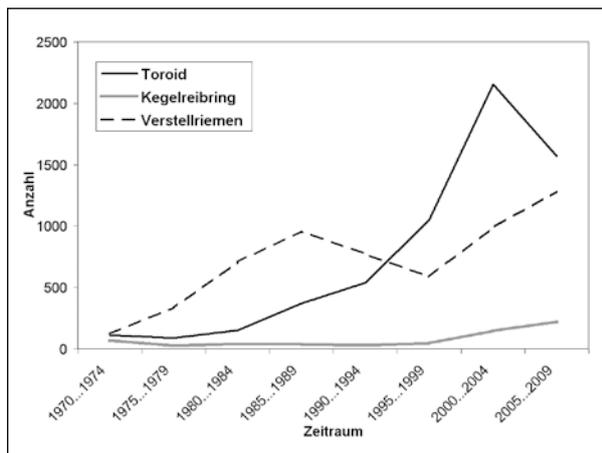
Figur 6: Verstellmechanismus zur Änderung der Übersetzung aus der US 179 746 A.

In den letzten zehn Jahren kam etwa die Hälfte der Anmeldungen aus dem zugrunde liegenden Prüfgebiet F16H 9/18 aus Japan. Deutsche Anmelder waren zu etwa einem Drittel an den Veröffentlichungen beteiligt.

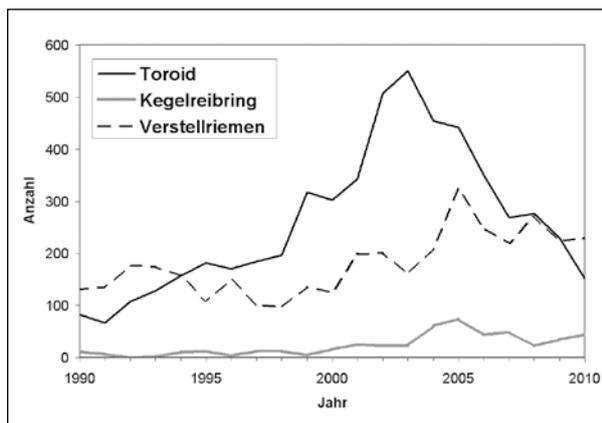
## 5 Entwicklung der Anmeldezahlen

Für die drei beschriebenen Getriebetypen wurden die Anmeldezahlen statistisch ausgewertet. Grundlage der Daten waren die in der Datenbank DOKIDX enthaltenen Dokumente. Es wurden die den entsprechenden Klassen der internationalen Patentklassifikation zugeordneten Dokumente der jeweiligen Veröffentlichungsjahre ermittelt. Doppelzählungen von Anmeldungen durch Offenlegungs- und Patentschrift kommen dabei vor. Da es in den Aussagen mehr auf den qualitativen Verlauf und das Verhältnis der Veröffentlichungszahlen der Gebiete zueinander ankommt, wurde diese Ungenauigkeit in Kauf genommen. In den betrachteten Klassen liegt jeweils der Schwerpunkt in der konstruktiven Ausgestaltung der Getriebe. Die weiteren Aspekte, wie beispielsweise die Steuerung der Getriebe oder hydraulische Bauteile für diese Getriebe, sind von dieser Statistik nicht erfasst.

Ab Anfang des 20. Jahrhunderts gibt es Einzelentwicklungen auf dem Gebiet der stufenlosen Getriebe, die durch Patentanmeldungen dokumentiert sind. In Figur 7 ist zu erkennen, dass erst in den 1970er Jahren das verstärkte Interesse an stufenlosen Getrieben einsetzte.



Figur 7: Anzahl der Veröffentlichungen für Toroidgetriebe (F16H 15/38, schwarze Linie), Kegelreibringgetriebe (F16H 15/42, graue Linie) und Verstellriemengetriebe (F16H 9/18, Strichlinie), jeweils in Fünfjahreszeiträumen aufsummiert.



Figur 8: Anzahl der Veröffentlichungen für Toroidgetriebe (F16H 15/38, schwarze Linie), Kegelreibringgetriebe (F16H 15/42, graue Linie) und Verstellriemengetriebe (F16H 9/18, Strichlinie) seit 1990.

Anzumerken ist jedoch, dass im Moment das Maximum der Anmeldezahlen in den drei betrachteten Gebieten überschritten scheint. Wie in Figur 8 zu sehen ist, gehen die Anmeldezahlen seit etwa 2003 kontinuierlich zurück.

## 6 Fazit

Neben den exemplarisch vorgestellten Konzepten zur stufenlosen Änderung der Übersetzung existiert noch eine Vielzahl von weiteren interessanten Getriebekonzepten zur stufenlosen Leistungsübertragung. Mittlerweile sind einige Getriebevarianten

zur Marktreife gelangt, wobei das Konzept mit Verstellriemengetriebe mit verstellbarem Doppelkegel und Schubgliederband als Übertragungsmittel derzeit im Automobilbereich von verschiedenen Firmen angeboten wird. Allerdings stehen die CVT-Getriebe in Konkurrenz zu Automatikgetrieben und Doppelkupplungsgetrieben, bei denen mittlerweile durch hohe Gangzahlen und feinfühligere Regelungen bei Übersetzungsänderungen eine ebenfalls nahezu ruckfreie Beschleunigung erreicht werden kann. Der Kunde wird letztendlich entscheiden, ob und gegebenenfalls wie viel er für den Komfort an Mehrkosten ausgeben will.

Der Wackel-Elvis kann sich in Zukunft – unabhängig vom gewählten Getriebetyp – wohl ausruhen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Wikimedia Foundation Inc.; 10.11.2011. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Wackeldackel>, [abgerufen am 16.01.12].
- [2] DANIEL, H.: „Ist ein stufenloses echt formschlüssiges Getriebe möglich?“ In: antriebstechnik 23, 1984, 5, S. 49-50, ISSN 0722-8546.
- [3] JAHR, A: Es ist kein formschlüssiges stufenloses Getriebe möglich. In: antriebstechnik 28, 1989, 1, S. 45-46, ISSN 0722-8546.

# Start-Stopp-Systeme und deren Umsetzung in Automobilgetrieben

Dr. Bodo Kappes, Patentabteilung 1.14

Mit Start-Stopp-Systemen in Kraftfahrzeugen schaltet der Verbrennungsmotor bei kurzen Haltevorgängen, zum Beispiel an einer Ampel, im Stau oder an einem Bahnübergang, automatisiert ab und beim Losfahren wieder an. Start-Stopp-Systeme in Kraftfahrzeugen leisten so einen Beitrag zur Kraftstoffeinsparung, reduzieren Abgas-Emissionen und vermeiden Standlärm. Obwohl es sich auf den ersten Blick nur um eine motorsteuerungstechnische Maßnahme handelt, die auf im Kraftfahrzeug bereits vorhandene Komponenten und Aggregate zurückgreift, so gehören zur Umsetzung doch diverse Modifikationen und auch getriebebesteuerungstechnische Anpassungen.

## 1 Einleitung

Der Einsatz von Start-Stopp-Systemen hat zum Ziel, den Leerlaufverbrauch (Benzin-/Diesel-Kraftstoff) von circa 0,6 bis 1,5 l/h bei heutigen Pkw je nach Motorverbrennungsprinzip, Fahrzeug- und Motorisierungsklasse zu vermeiden. Auf diese Weise sind Kraftstoffeinsparungen vornehmlich im Stadtverkehr und in Stausituationen möglich, die zu Einsparungen von etwa 5 bis 7 % im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) führen [2, 4, 14].

Start-Stopp-Systeme können als eine Erweiterung der Funktionalität der seit Ende der 1970er Jahre markt-bekanntesten Schubabschaltung gesehen werden, die die Kraftstoffzufuhr während der Fahrt unterbricht, wenn dem Verbrennungsmotor oberhalb der Leerlaufabschaltdrehzahl keine Leistung abverlangt wird und der Motor eingekuppelt angeschoben wird, womöglich um ihn als Motorbremse einzusetzen [5].

Die bei einem Start-Stopp-System im Vergleich zur Schubabschaltung zusätzliche Kraftstoffersparnis bei Fahrzeugstillstand kann auch durch manuelles Abstellen und Wiederstarten des Motors mittels Zündschlüssel erreicht werden. Bedingt durch das Fehlen einer Steuerstrategie für die einzelnen Fahrzeugkomponenten und Aggregate fallen die Vorteile jedoch geringer aus. Diese Vorgehensweise wird zumeist abgelehnt, da heute übliche Komfortaggregate, wie beispielsweise

die Klimaanlage, dann nicht dienstbar sind, und der manuelle Start-Stopp-Vorgang einen unkomfortablen Bedieneingriff erfordert. Bei exzessiver Praxis sind weitere Nachteile hinsichtlich der Wiederstartsicherheit und bezüglich des Verschleißes von Anlasser und Verbrennungskraftmaschine wahrscheinlich.

## 2 Historie

Die Entwicklung von Start-Stopp-Systemen beginnt Anfang der 1970er Jahre und ist letztlich eine Reaktion auf die erste Ölkrise. Ein erstes Start-Stopp-System wurde von Toyota Mitte der 1970er Jahre vorgestellt. Der damit ausgestattete Toyota Crown schaltete den Motor nach einer Standzeit von 1,5 Sekunden automatisch ab und mit Betätigung des Kupplungspedals wieder an [6].

Ein System mit einem „Motor-aus“-Bedienelement und einem Motorwiederstart mittels Gaspedaldruck, Kupplungs- oder Ganghebelbetätigung in den Anfahrangang war ab Anfang der 1980er Jahre in Modellen von Audi, VW, Fiat und Opel erhältlich [2, 7]. 1993 gab es in Form des VW Golf Ecomatic einen weiteren Versuch, ein Start-Stopp-System zu lancieren [7, 8]. Weiter wurde der VW Lupo 3L ab 1999 mit einem Start-Stopp-System in Verbindung mit einem automatisierten Getriebe angeboten. Das Abstellen des Motors erfolgte über die Bremspedalbetätigung nach 4 Sekunden.

### 3 Einbindung von Start-Stopp-Systemen in Kraftfahrzeugen

Aufgabe eines modernen Start-Stopp-Systems ist es primär, den Motor komfortabel ab- und zudem komfortabel, zügig und sicher wieder anzustellen. Dabei sind diverse Komfort- und Sicherheitsfunktionen im Fahrzeug aufrecht zu erhalten. Dazu müssen viele Bauteile im Kraftfahrzeug an die neuen Anforderungen angepasst werden [11].

Das in konventionellen Personenkraftwagen heute übliche 12V-Bordnetz ist bei Pulslasten wie dem Anlassvorgang hoch beansprucht. Dennoch verwenden die meisten Fahrzeughersteller das Start-Stopp-System vornehmlich aus Kostengründen in Verbindung mit dem bestehenden 12V-Bordnetz. Dafür kommen spezielle Batterien (sogenannte AGM-Batterien: Absorbent Glass Mat-Batterien) zum Einsatz, die über eine deutlich erhöhte Zyklenfestigkeit und Startleistung im Vergleich zu herkömmlichen Batterien verfügen [11]. Weiter werden Maßnahmen ergriffen, um das 12V-Bordnetz zu stabilisieren. Dies kann beispielsweise mit zur Batterie in Reihe geschalteter Kondensatoren erfolgen [2]. Zur Sicherstellung eines Mindestspannungspegels beim Startvorgang dienen DC/DC-Wandler [11]. Da in den Motor-Stopp-Phasen vermehrt Energie aus der Batterie bei gleichzeitig stillstehendem Generator abgerufen wird, werden Motor-Start-Stopp-Automatiken heute zumeist in Kombination mit Einrichtungen zur Bremsenergieerückgewinnung angeboten, um die benötigte elektrische Energie decken zu können [2, 11].

Ebenso ist der Anlasser beziehungsweise Starter für die Verbrennungskraftmaschine entsprechend den neuen Anforderungen zu befähigen. Über die durchschnittliche Lebensdauer eines konventionell angetriebenen Kraftfahrzeugs erfolgen 5 000 bis 15 000 Startvorgänge. Bei Fahrzeugen mit Start-Stopp-Automatik geht man von 250 000 Starts aus. Daher werden zumeist optimierte Ritzelstarter mit erhöhter Leistung und Zyklenfestigkeit eingesetzt, bei denen die Lagerstellen und die Ritzelanbindung entsprechend ausgelegt sind, damit das Aggregat nicht vorzeitig verschleißbedingt

ausfällt [2, 4, 11]. In Hybrid-Kraftfahrzeugen übernimmt üblicherweise eine Elektromaschine die Anlassfunktionalität beziehungsweise kommt ein sogenannter integrierter Startergenerator zum Einsatz.

Auch müssen Verbrennungsmotorkomponenten bezüglich der erhöhten Starthäufigkeit hinsichtlich der Verschleißfestigkeit ertüchtigt werden, wie beispielsweise Kurbelwellenlagerschalen oder Pleuellager [9]. Ebenso muss die Motorölversorgung sichergestellt werden, um Verschleiß und verlängerte Ansprechzeiten beim Wiederstart zu vermeiden. Um die Totzeit und damit die Startverzögerung zu minimieren, erfasst ein Sensor die genaue Position der Kurbelwelle. Zudem kann der Kraftstoffdruck während der Stopp-Phase aufrechterhalten werden [15]. Damit lassen sich motorsteuerungstechnisch der Wiederstart komfortabler ohne Anfahruckeln gestalten und auch die Emissionen und der Kraftstoffmehrverbrauch durch den Warmstart reduzieren [10, 11, 13]. Hierdurch ist von einer Rentabilität ab 4 bis 5 Sekunden Stoppdauer auszugehen [11, 13].

Zur Realisierung der Start-Stopp-Automatik muss die Steuerung die Aggregate hinsichtlich ihrer individuellen Steuerstrategien und -vorgänge berücksichtigen. Unter bestimmten Bedingungen darf keine (Start-)Stopp-Funktionalität verfügbar sein oder der Motor muss sofort wieder gestartet werden. Hier wird neben den „Einschaltaufforderungen“ von „Abschaltverhinderern“ und „Einschaltverhinderern“ gesprochen. Hierzu werden diverse Fahrzeugparameter ausgewertet und Zielkonflikte aus Komfortinteressen (zum Beispiel Fahrzeugklimatisierung), Energieeffizienz (Kraftstoffersparnis), Fahrzeugverfügbarkeit (Wiederstartfähigkeit) und Sicherheitsaspekten (zum Beispiel Bremssystem) gegeneinander abgewogen [11]. Zum Beispiel steht die Start-Stopp-Funktionalität erst nach einer Motorwarmlaufphase, die die Ölviskosität in den Arbeitsbereich verbringt und die Abgasnachbehandlungssysteme auf Betriebstemperatur aufheizt, zur Verfügung [10, 14].

Zur Sicherung der Wiederstartfähigkeit darf der Ladezustand der Batterie nicht unter einen Schwellwert ab-

sinken. Ist der Ladezustand der Batterie zu niedrig, so ist die Abschaltung zu verhindern oder wenn der Motor bereits abgeschaltet wurde, eine Einschaltaufforderung vorzunehmen. Auch kann das System inaktiv sein, wenn zu viele Verbraucher in Betrieb sind. Alternativ kann die Leistungsaufnahme von Verbrauchern wie Heckscheiben- oder Sitzheizung im Rahmen eines Powermanagements reduziert werden [11].

Da der Klimakompressor über den Riementrieb nicht mehr angetrieben werden kann, wenn der Motor steht, sollte die Klimaanlage bereits die gewünschte Innenraumtemperatur erreicht haben, sonst findet eine Abschaltverhinderung statt. Alternativ kann beispielsweise ein Kältespeicher zur Aufrechterhaltung der Kühlung vorgesehen werden, wie dies derzeit bei Kraftfahrzeugen im Luxussegment realisiert wird [15]. Um stets mit gleicher Bremspedalkraft entsprechend bremsen zu können, muss aus Gründen der Sicherheit ein Wiederstart des Motors in der Stopp-Phase („Einschaltaufforderung“) erfolgen, wenn nicht mehr genügend Unterdruck für den Bremskraftverstärker vorhanden ist [15].

## 4 Umsetzung der Start-Stopp-Funktionalität in Getrieben

### 4.1 Aktivierungsstrategien und Signalgebung

Bei handgeschalteten Getrieben erfolgt die Stopp-Phase heute zumeist mit dem Einlegen des Leerlaufs und dem Lösen des Kupplungspedals. Durch eine erneute Betätigung des Kupplungspedals startet der Motor wieder. Diese Aktivierung wird auch als „Stop-in-Neutral“ bezeichnet [11, 12]. Andere Systeme sehen bei stehendem Kraftfahrzeug das Treten von Kupplung und Bremspedal vor, um den Verbrennungsmotor zu deaktivieren. Dabei kann ein Gang eingelegt sein. Der Wiederstart erfolgt mit dem Loslassen des Bremspedals. Diese Vorgehensweise wird auch als „Stop-in-Gear“ bezeichnet (DE 10 2009 047 233 A1).

Bei automatischen Getrieben wie Wandlerautomatikgetrieben, CVT-Umschlingungsgetrieben (CVT für

Continuously Variable Transmission) und automatisierten Stufengetrieben samt Doppelkupplungsgetrieben ist kein Kupplungspedal vorhanden. Das Abschalten erfolgt im Stillstand bei betätigtem Bremspedal [11, 12, 13]. Zum Teil erfolgt der Motorstopp erst nach einem Verzögerungsintervall von etwa einer Sekunde, um eine Vielzahl von Kurzzeitstopps, bei denen es energetisch nicht sinnvoll wäre, den Motor abzustellen, zu vermeiden [13, 15]. Üblicherweise erfolgt der Wiederstart mit dem Lösen des Bremspedals oder dem Betätigen des Gaspedals (DE 10 2004 023 617 A1, Absatz [0006]).

Zur Deaktivierung der Motor-Start-Stopp-Automatik wird neben einer Deaktivierungstaste vereinzelt die Möglichkeit offeriert, situativ auf den Motorstopp zu verzichten, weil der Fahrer vielleicht gleich wieder das Fahrzeug beschleunigen möchte. So kann er innerhalb des Motorstoppverzögerungsintervalls den Bremsdruck kurz erhöhen und wieder absenken. Diese Bremsdruckmodulation signalisiert der Steuerung, eine Abschaltverhinderung vorzunehmen [11, 15].

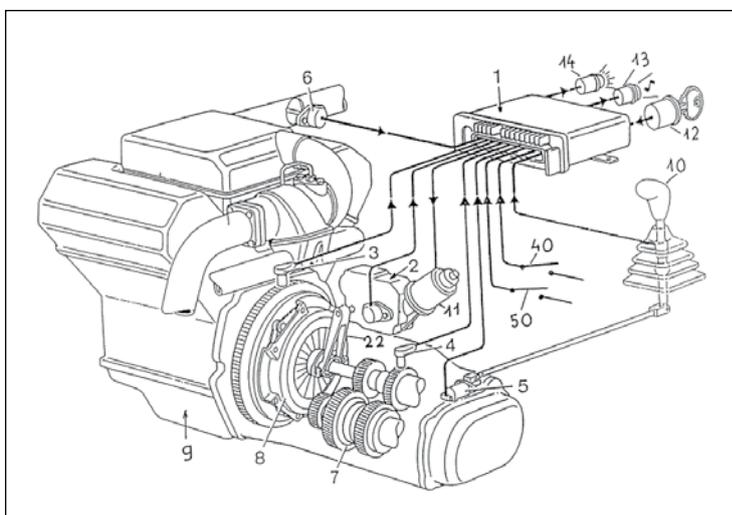
### 4.2 Sicherheitsstrategien zur Vermeidung von unerlaubtem Losfahren

Um bei einem steuerungsbedingten Wiederstart ein unerlaubtes Losfahren des Fahrzeugs zu verhindern, muss der Verbrennungsmotor zum Wiederstartzeitpunkt vom Antriebsstrang entkoppelt sein. Für die Prüfung der Entkopplung werden bei Handschaltgetrieben Neutralgang- und Kupplungssensoren genutzt. Um deren Fehlfunktion auszuschließen, können Redundanzlösungen, Plausibilisierungs- beziehungsweise Diagnosetechniken zum Einsatz kommen. Sollte ein Fehler bei der Neutralpositionserkennung vorliegen, so dass die Getriebeposition nicht sicher bestimmt werden kann, so ist die Motor-Start-Stopp-Automatik aus Sicherheitsgründen zu deaktivieren (DE 10 2009 047 233 A1; DE 10 2008 042 256 A1; DE 10 2004 023 617 A1, Absatz [0007]).

Die DE 10 2004 023 617 A1 sieht vor, dass bei einem Ausfall des Neutralgang- oder des Kupplungssensors beim Handschaltgetriebe die Wiederstartsicherheit über die

Erfassung der Fahrzeugbeschleunigung kostengünstig zu realisieren ist. Da die Beschleunigung beim Wiederstart infolge hoher Startdrehmomente erfolgt, kann bei einer Überschreitung einer vordefinierten Grenzbeschleunigung der Startvorgang abgebrochen und gegebenenfalls das Fahrzeug sogar verzögert werden.

Damit es nicht zu einer ungewollten Fahrzeugbewegung in Folge eines Wiederstarts kommt, wenn der Fahrer während einer Motor-Stopp-Phase das Fahrzeug verlässt (sogenannter „Einschaltverhinderer“), fragen moderne Motor-Start-Stopp-Systeme die Fahrerwesenheit mittels verschiedener Sensoren wie Motorhauben-, Fahrertür-, Fahrergurtschlosssensor oder Sitzbelegungserkennung ab (DE 693 03 457 T2), die Aufschluss über eine sichere oder vermutete Fahrerabwesenheit erlauben. Figur 1 zeigt ein Fahrerabwesenheitsschutzsystem in Verbindung mit einer automatischen Anfahrtschaltung bei einem manuellen Stufenschaltgetriebe 7 und einer automatisierten Motorkupplung 8, die von einem Elektromotor 11 angesteuert wird. Die Steuerung 1 erhält diverse Sensorsignale von den Sensoren 3 bis 6 und schaltet die Anfahrtschaltung bei einer zumindest vermuteten Fahrerabwesenheit aus. Dies geschieht, da man davon ausgeht, dass der Fahrer im Systemfehlerfall eine eintretende Gefahr abwenden kann und ein Missbrauch beispielsweise durch Kinder oder Tiere bedingt durch seine Anwesenheit nicht möglich ist.



Figur 1: Fahrerabwesenheitsschutzsystem (DE 693 03 457 T2)

### 4.3 Hydraulische Dienstbarmachung der Getriebe- steuerung

Bei handgeschalteten Stufengetrieben werden die Schalt-/Wählbewegungen und die Kupplungspedalbedienung vom Fahrer ausgeführt. Es sind keine Aktuatoren vorhanden, so dass weitere getriebesteuerungstechnische Maßnahmen nicht notwendig sind.

Einige Getriebe, zumeist automatisierte Stufenschaltgetriebe, verfügen über Getriebesteuerungen, die mit elektrischen Aktuatoren arbeiten. Diese müssen, um Ansteuerungen während Motor-Stopp-Phasen bewältigen zu können, auf ein entsprechend leistungsfähiges Bordnetz zurückgreifen können. Eine weitere Anpassung ist in der Regel nicht erforderlich.

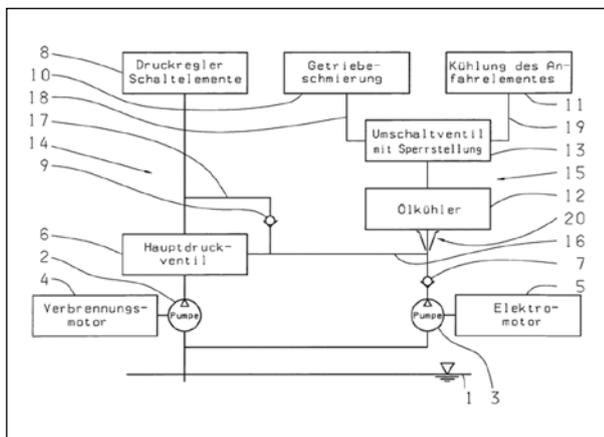
Folgende Getriebe mit hydraulischen Aktuatoren müssen hingegen zur Druckaufrechterhaltung im Steuersystem ertüchtigt werden:

#### 4.3.1 Automatikgetriebe

Bei Automatikgetrieben geht der Drehmomentfluss von der Verbrennungskraftmaschine zumeist über einen hydrodynamischen Wandler als Anfahrlement auf das eigentliche Automatikgetriebe, welches die unterschiedlichen Gänge und damit Übersetzungsstufen mittels interner Schaltkupplungen, die verschiedene Zahnräder festlegen, einstellt. Die internen Schaltkupplungen werden üblicherweise hydraulisch betätigt. Da bei Automatikgetrieben nach dem Motorstopp die motorseitige Hydraulikpumpe nicht mehr läuft, kann der Hydraulikdruck im System nicht mehr aufrechterhalten werden. In der Regel handelt es sich bei diesen internen Schaltkupplungen um Stellelemente, die bei Nichtaktivierung geöffnet sind und das Getriebe somit in die Neutral-Schaltposition übergeht.

Beim Wiederstart sind Leitungs- und Stellvolumina der zugehörigen Schaltkupplungen zügig zu befüllen und der Kraftschluss zeit-/druckgesteuert sanft einzuleiten. Startzeiten von unter 350 Millisekunden werden als akzeptabel angesehen. Ohne weitere Maßnahmen lägen diese bei modernen Pkw-Getrieben jedoch bei circa 800 Millisekunden [14].

Um der Problematik zu begegnen, dass die motorseitige Getriebeölpumpe im Motor-Stopp-Zustand nicht mehr läuft, sind Konstruktionen mit einer elektromotorisch angetriebenen Zusatzpumpe bekannt (Figur 2). Die DE 10 2005 013 137 A1 schlägt eine klein dimensionierte Elektrozusatzpumpe 3 vor, die im Motor-Stopp-Zustand die hydraulische Versorgung der Steuerschaltung übernimmt und zusätzlich Volumenstrom für die Kühlung des Anfahrlements 11 (hier in Form einer hydraulischen Reibungskupplung) und der Getriebeschmierung 10 bereitstellt. Insbesondere in der Anfahrtsituation wird ein erhöhter Kühlölstrom benötigt, den die mechanische Pumpe 2 nur bei entsprechend großer Auslegung bei den niedrigen Anfahrtdrehzahlen liefern kann, was im Hinblick auf den normalen Fahrbetrieb nicht wirtschaftlich wäre. Aus diesem Grund läuft die Elektropumpe auch nach der Verbrennungsmotorstillstandsphase anfänglich noch mit, um diesen Bedarf zu ergänzen. Weiter kann mit solchen Konstruktionen bei einem vollständigen oder teilweisen Ausfall einer der Pumpen die andere zumindest in Teilen im Sinne der Redundanz den Ölstrombedarf decken. Die Steuerung der Pumpleistung der Elektropumpe kann über die Drehzahl des Elek-

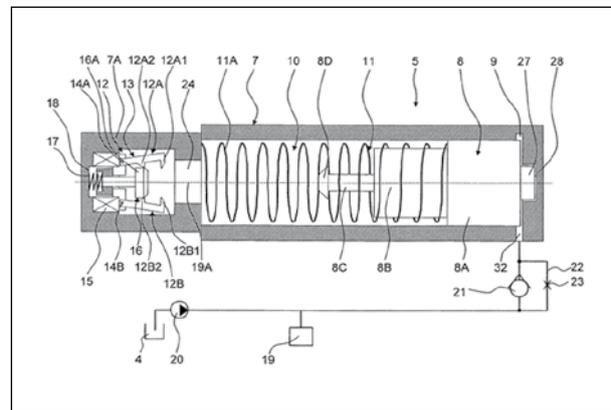


Figur 2: Zusatzpumpenlayout (DE 10 2005 013 137 A1)

tromotors mit einer Ölmengenbedarfsanalyse vorgenommen werden, die von Sensordaten und/oder über mathematische Modelle Informationen erhält.

Die DE 10 2007 003 923 A1 hat sich zum Ziel gesetzt, aus Kosten-, Bauraum- und Energieeffizienzgründen auf eine Zusatzpumpe beim Automatikgetriebe mit hydrodynamischem Wandler zu verzichten. Die direktgesteuerten elektrischen Ventile werden elektrisch in einen Anfahrang geschaltet und bleiben dies auch während der Stopp-Phase des Motors. Zudem wird sichergestellt, dass sich die Zulaufkanäle nicht in das Reservoir entleeren. Es wird davon ausgegangen, dass im Anfahrbetrieb der Primärdruckkreis der Getriebesteuerung vor dem Sekundärdruckkreis der Getriebe-Kühlschmierung bevorzugt versorgt werden kann. Dies reduziert den Zeitverlust beim Wiederstart.

Eine weitere Alternative zu Mehrpumpensystemen stellen hydraulische Zusatzspeicher dar, wie die DE 10 2006 014 756 A1 am Beispiel eines Federspeichers zeigt (Figur 3) [14].



Figur 3: Hydraulischer Druckspeicher (DE 10 2006 014 756 A1)

Der dargestellte zylindrische Speicher 5 ist mithilfe der Pumpe 20, die von der Verbrennungskraftmaschine angetrieben wird, über eine Drossel 23 befüllbar. Dies geschieht während des normalen Fahrzeugbetriebs. Das Hydraulikfluid wird in die Kammer 9 geladen und der Kolben 8 bewegt sich in die hintere Endstellung, wobei die Feder 11 vorgespannt wird. Mit der Drossel kann die Ladezeit eingestellt werden, so

dass es nicht zu Druckabsenkungen im Hydrauliksystem 19 kommt und somit die normale Funktionalität des Getriebes nicht beeinträchtigt wird [14]. Dabei wird letztendlich der zum Kolben 8 gehörige Kegelstumpfbereich 8D in einer Halteeinrichtung 12 mit Rastmechanismus 13 bei bestromtem elektromagnetischen Aktor 15 festgehalten. Beim Motor-Stopp entsteht, da die Pumpe 20 nicht mehr fördert, ein Druckgefälle zum Hydrauliksystem 19, so dass der Druck im Speicherraum 9 abnimmt. Bei einer Wiederstartbedingung für den Motor wird der elektromagnetische Aktor 15 nicht mehr bestromt. Damit gelangt der Betätigungsstößel 16 mittels der Feder 17 in eine die Halteeinrichtung 12 deaktivierende Position. Der Kolben 8 wird mittels der Feder 11 in die vordere Ausgangsposition bewegt und das Hydraulikfluid in der Speicherkammer 9 fließt über das geöffnete Rückschlagventil 21 in das Hydrauliksystem 19 und dient auf diese Weise der zügigen Ansteuerung der hydraulischen Schaltelemente [14]. Weitere Vorteile dieser Lösung liegen in den niedrigen Kosten und der geringen Geräuschentwicklung in der Stillstandsphase. Die typische Ladezeit liegt bei Pkw-Automatikgetriebe etwa bei 5 Sekunden, so dass auch kurz hintereinander liegende Stopp-Phasen realisierbar sind [14].

Ein alternatives Speicherkonzept besteht aus der Möglichkeit, rotatorische Antriebsenergie der Verbrennungskraftmaschine in einem Federspeicher zu speichern. Kommt es nun zum Motor-Stopp, so kann die dort gespeicherte Energie freigesetzt werden und eine Getriebeölpumpe antreiben, so dass der Öldruck beziehungsweise Volumenstrom während der Stopp-Phase annähernd erhalten bleibt (DE 10 2008 001 203 A1).

#### 4.3.2 Sonstige Getriebebauarten

Unter CVT-Getrieben werden hier mechanische Stufenlosgetriebe des Umschlingungstyps bezeichnet. Das Umschlingungsmittel, zum Beispiel ein Schubgliederband oder Riemen, läuft zwischen zwei Kegelscheibenpaaren, auch Variator genannt, der über eine hydraulische Aktorik die Radius- und damit Hebelverhältnisse einstellt und so die Übersetzung

festlegt. Zudem sorgt der Variator für die notwendige Vorspannung des Umschlingungsmittels, um Schlupf zu vermeiden, der zum Verschleiß und später zum Versagen des Getriebes führt. Übliche Maßnahmen zur Anpassung des hydraulischen Systems entsprechen denen, die auch bei Automatikgetrieben ergriffen werden (DE 10 2008 060 586 A1, Absatz [0015]). Besonders verschleißkritisch ist bei den CVT-Getrieben das Durchrutschen des Umschlingungsmittels in Bezug auf die Variatorkegelscheiben. Deshalb ist hier darauf zu achten, dass ein Kraftschluss zum Verbrennungsmotor erst hergestellt wird, wenn der Variator entsprechend vorgespannt ist (DE 10 2006 054 254 A1).

Die automatisierten Stufenschaltgetriebe gehen grundsätzlich vom Layout der manuellen Schaltgetriebe aus. Die Motortrennkupplung als Anfahrerelement und die Wähl-/Schaltbewegung werden aber über Aktuatoren angesteuert. Die Wähl-/Schaltbewegung erfolgt üblicherweise über Schaltwellen oder Schaltstangen, die über Schaltgabeln die Kupplungsmuffen betätigen. Diese legen die Zahnräder und damit die Übersetzung fest und dienen zumeist auch der Synchronisation von Getriebebauteilen. Die Wähl-/Schalt-Position wird über Rastierungen gehalten. Bei hydraulischen Aktuatoren können zusätzlich die im Bereich der Automatikgetriebe vorgestellten Ertüchtigungsmaßnahmen zur Anwendung kommen (DE 10 2005 013 137 A1). Meist bildet jedoch die Kühlfunktionalität während der Stopp-Phasen hier den Schwerpunkt der Maßnahmen.

Eine Sonderform der automatisierten Stufenschaltgetriebe stellen die Doppelkupplungsgetriebe dar. Die DE 10 2008 009 653 A1 schlägt speziell für den Einsatz in Doppelkupplungsgetrieben mit hydraulischer Aktorik eine Kombination aus verbrennungsmotorisch angetriebener Pumpe, elektromotorisch angetriebener zweiflutiger Pumpe und einen Hydraulikspeicher in Verbindung mit einem Priorisierungssystem vor. Die Priorisierung dient dabei der energieeffizienten Verteilung des Hydraulikmediums hinsichtlich Hydraulikspeicherbefüllung, Doppelkupplungskühlung, Getriebekühlschmierung und Getriebesteuerung.

Als Hybridantriebe sollen Fahrzeugantriebe verstanden werden, die zumindest eine elektrische Antriebsmaschine mit einer Verbrennungskraftmaschine zum Kraftfahrzeugvortrieb vereinen. Generell werden bei diesen Fahrzeugen automatisch schaltende Getriebe verbaut. Es kommen unterschiedliche Getriebebauarten (beispielsweise CVT-Getriebe, Automatikgetriebe) in der Praxis vor. Je nach Hybridantriebsstruktur (zum Beispiel Parallelhybrid) und Hybridisierungsgrad (zum Beispiel Voll-Hybrid) sind verschiedene Antriebsfunktionen integriert. So kann das Voll-Hybrid-Kraftfahrzeug auch rein elektromotorisch fahren. Die Leerlaufabschaltung ist somit nur eine von vielen Betriebsarten in denen die Verbrennungskraftmaschine nicht läuft. Das An- und Abschalten gehört bei Hybridantrieben zum Funktionsumfang dazu und ist in das Gesamtkonzept eingebunden. Deshalb müssen ohnehin verschiedene Bauteile dahin gehend optimiert werden. Die Applikation von Start-Stopp-Systemen stellt somit keinen erheblichen Zusatzaufwand dar. Auch der Bremsenergieerückgewinnungsgrad ist bedingt durch die verbesserten Bordnetze und das Powermanagement deutlich höher. Im Bereich der Getriebehydraulik werden bevorzugt vom Verbrennungsmotor unabhängige elektromotorisch angetriebene Getriebeölpumpen verwendet, da die leistungsfähigen Bordnetzsysteme dies erlauben. Jedoch kommen auch die übrigen beschriebenen Maßnahmen zum Einsatz. Weitere Informationen zur Umsetzung von Start-Stopp-Systemen in Hybrid-Kraftfahrzeugen können auch [16] entnommen werden.

## 5 Ausblick

Die Verbreitung von Start-Stopp-Systemen in konventionell angetriebenen Pkw wird bedingt durch die Verschärfung der Abgasgrenzwerte weiter zunehmen [11]. Fachleute gehen davon aus, dass die Ausrüstungsquote bei Neufahrzeugen im Jahr 2015 in Europa bei 90% liegen wird [12] und im Jahr 2017 etwa 65% des Personenkraftfahrzeugbestands in Europa mit einem solchen System ausgestattet sein wird. Im Jahr 2020 wird von einer fast 100%igen Ausrüstung ausgegangen [2].

Um den Spareffekt zu verstärken, wird immer mehr versucht, die Funktionalität der Start-Stopp-Systeme von dem reinen Fahrzeugstillstand auszudehnen, also den Verbrennungsmotor bereits im Ausrollen des Fahrzeugs auszuschalten, auszukuppeln und nur noch in Beschleunigungsphasen einzuschalten. Man spricht hier vom „Start-Stopp-Segel-Betrieb“, wie er bei Hybridantrieben bereits verbreitet ist. Hierbei kommt einem stabilen Bordnetz jedoch eine erhöhte Bedeutung zu, da diverse Sicherheits- und Komfortfunktionen in der Segelphase aufrechterhalten werden müssen oder sollen [3, 11].

## Danksagung

Dem Kollegen Dipl.-Ing. Christoph von Essen wird für seine Anregungen sehr gedankt.

## Literaturverzeichnis

- [1] TONHAUSER, J.; WOLFF, S.; ALBRECHT, M.; KRETSCHMER, J.: Start-Stopp-Systeme für Fahrzeuge mit Automatikgetriebe. In: ATZechnik, 06/2010, S. 36-40.- ISSN 1862-1791
- [2] KNORR, R.: Start/Stop-Systeme auf der Zielgeraden. In: ATZ, 09/2011, S. 664-669.- ISSN 0001-2785
- [3] MÜLLER, N.; STRAUSS, S.; TUMBACK, S.; CHRIST, A.: Segeln – Start/Stop-Systeme der nächsten Generation. In: MTZ, 09/2011, S. 644-649. - ISSN 0024-8525
- [4] Robert Bosch GmbH: Start/Stop-Technik reduziert CO<sub>2</sub>-Emissionen und spart Kraftstoff. Stuttgart 2010. – Firmenschrift
- [5] BASSHUYSEN, R. VON; SCHÄFER, F. (Hrsg.): Lexikon Motorentechnik. 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg Verlag. 2006, S. 218.- ISBN 978-3-528-13903-2
- [6] DUNHAM, B.: Automatic on/off switch gives 10-percent gas savings. In: Popular Science, 10/1974, S. 170
- [7] GRUND, T.: Der Santana für Geizkragen. URL: <http://www.santanagx5.de> [aufgerufen am 22.02.2012]

- [8] LEWANDOWSKI, J.: Und immer wieder springt der Motor an. In: Süddeutsche Zeitung, 26.02.1994.- ISSN 0174-4917
- [9] ADAM, A.; PREFOR, M.; WILHELM, M.: Kurbelwellenlager für Motoren mit Start-Stopp-System. In: MTZ, 12/2010, S.886-890.- ISSN 0024-8525
- [10] WOLFF, S.; ABENDROTH, D.; WEIGL, W. [et al.]: Die Einführung der Auto Start Stopp Funktion (ASSF) in Volumenmodellen der BMW Group – ein intelligenter Beitrag zur Effizienten Dynamik. In: 7. Internationales Stuttgarter Symposium Automobil- und Motorentechnik, Band 1, Wiesbaden: Vieweg Verlag. 2007. S. 447-460.– Tagungsband.
- [11] WOLFF, S.; SCHMID, M.; TONHAUSER, J.; LIEBL, J.: Auto Start Stopp Funktion – Eine Herausforderung an die Integration in die Gesamtfahrzeugarchitektur. In: 14. Internationaler Kongress Elektronik im Kraftfahrzeug, Baden-Baden, VDI-Tagungsbände, Bd. 2075, 2009, S. 161-172.– Tagungsband
- [12] GROSS, J.; HARTMANN, S.; MERKLE, M.: Entwicklungstrends und zukünftige Lösungen für Start/Stopp Systeme. In: 14. Internationaler Kongress Elektronik im Kraftfahrzeug, Baden-Baden, VDI-Tagungsbände, Bd. 2075, 2009, S. 173-190.– Tagungsband
- [13] HOFMANN, J. [et al.]: Integration von Start-Stopp in Oberklasse-Fahrzeugen mit Automatikgetriebe. In: 14. Internationaler Kongress Elektronik im Kraftfahrzeug, Baden-Baden, VDI-Tagungsbände, Bd. 2075, 2009, S. 211-219.– Tagungsband
- [14] BEK, M.; SCHIELE, P.: Der hydraulische Impulspeicher – ein Beitrag der ZF-Automatgetriebe zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung. In: 29. Internationales Wiener Motorensymposium, 2008, S. 259-277.– Tagungsband
- [15] TONHAUSER, J.; WOLFF, S.; ALBRECHT, M.; KRETSCHMER, J.: Start-Stopp-Systeme für Fahrzeuge mit Automatikgetriebe. Neuere Herausforderungen und Systemweiterentwicklungen. In: ATZelektronik, 06/2010, S. 37-41.- ISSN 1862-1791
- [16] TOURNEAU, M.: Entwicklungstendenzen bei hybriden Fahrzeugsystemen im Hinblick auf Kraftstoffesparung, Schadstoffminderung und Komfort. In: Erfinderaktivitäten 2006/2007. München: Deutsches Patent- und Markenamt, S. 68-75

# Nachhaltige Mobilität mit Brennstoffzellen

Dr. Agnieszka Bes, Dr. Volker Rüger, Dipl.-Ing. Frank Senftleben, Patentabteilung 1.45

Das Elektroauto kommt: Der Weg in den Massenmarkt ist inzwischen gut ausgeleuchtet. Rund 1 500 solcher Fahrzeuge sind bereits in Deutschland unterwegs. Und das ist erst der Anfang. Das Ziel der Bundesregierung ist, bis 2020 eine Million Elektroautos auf die Straße zu bringen, bis 2030 sogar sechs Millionen [1]. Bei der Elektromobilität nutzt man zwei verfügbare Technologien: Brennstoffzelle und Batterie. Batteriegestützte Elektrofahrzeuge sind wegen der kurzen Reichweiten für den Stadtverkehr geeignet, während für die Vielfahrer oder die langen Strecken wasserstoffgetriebene Fahrzeuge zum Einsatz kommen werden. Die Brennstoffzelle ist längst keine Zukunftsvision mehr. Zahlreiche Beispiele aus der Praxis belegen schon jetzt deren Leistungsfähigkeit. Während die technische Marktfähigkeit von Brennstoffzellenautos nachgewiesen ist, steht jetzt die Umsetzung der ökonomischen Marktfähigkeit an. Dieser Beitrag liefert einen Überblick über den Stand der Brennstoffzellen-Technologie.

## 1 Einleitung

Grenzenloses emissionsfreies Fahren – dieser Traum ist an ein chemisches Element geknüpft: Wasserstoff. Wasserstoff macht regenerative Energie speicherbar und damit transportabel. Somit ist Wasserstoff eine nachhaltige Alternative, sowohl als Energieträger für stationäre Anwendungen als auch als Treibstoff, denn Wasserstoff wird in einer Brennstoffzelle zur Stromproduktion verwendet. Dabei entsteht lediglich reines Wasser. Dieser Prozess ist sogar umkehrbar. So wird durch Elektrolyse aus Wasser und Energie wieder Wasserstoff. Mithilfe erneuerbarer Energien gewonnen, könnte Wasserstoff deshalb zur Grundlage einer nachhaltigen Mobilität werden.

Brennstoffzellenautos haben inzwischen eine beachtliche technische Reife erlangt, gekennzeichnet durch schnelle Auftankzeiten, große Reichweiten sowie ein Fahrverhalten und eine Beschleunigung, die vergleichbar mit ihren Konkurrenten mit Verbrennungsmotor sind. Zusammen mit batterieelektrischen Kraftfahrzeugen sind Brennstoffzellenautos wichtige Technologien der Zukunft [2].

Der Großteil der beim Deutschen Patent- und Markenamt (DPMA) eingereichten Patentanmeldungen im Bereich der Brennstoffzellen-Technologie (IPC: H01M 8/00 – 8/24) stammt von Firmen aus dem Automobil-

sektor und der zugehörigen Zulieferindustrie, aus Deutschland, Japan und den USA. In diesem Technologiebereich sind auch deutsche Großforschungseinrichtungen und mittelständische Unternehmen sehr aktiv, darunter auch relativ junge, auf Brennstoffzellen spezialisierte Kleinunternehmen. Hinzu kommt in diesem Gebiet noch eine sehr hohe Anzahl in die nationale Phase getretener internationaler Anmeldungen (PCT-Anmeldungen mit Wirkung für Deutschland).

## 2 Brennstoffzellentypen

Je nach Anwendungsbereich müssen Brennstoffzellen verschiedene Anforderungen erfüllen. In stationären Anlagen, wie Heizkraftwerken, kann zusätzlich auch eine Kraft-Wärme-Kopplung erfolgen. Brennstoffzellensysteme in Fahrzeugen werden für den Antrieb oder zur An-Bord-Stromerzeugung genutzt. Ein weiteres Anwendungsgebiet sind netzunabhängige portable Geräte. Als Stromerzeuger in Fahrzeugen werden folgende Brennstoffzellentypen favorisiert:

### 2.1 Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEMFC)

Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)-Brennstoffzellen sind die aktuellen Schwerpunkte der Forschung für Brennstoffzellen-Fahrzeug-Anwendungen [3].

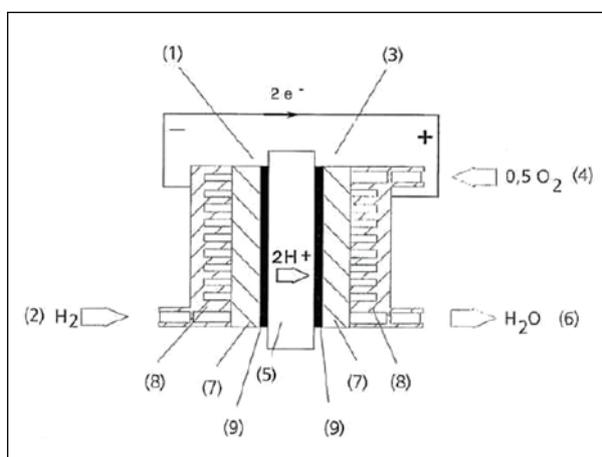
Dieser Brennstoffzellentyp wird momentan als aussichtsreichster Kandidat für den Einsatz in Fahrzeugen gesehen.

Alle PEM-Brennstoffzellen bestehen aus mehreren Schichten unterschiedlicher Materialien, wie in der Figur 1 gezeigt. Die drei wichtigsten Bestandteile einer PEM-Brennstoffzelle sind:

- Membran-Elektroden-Einheit (1, 3, 5)
- Katalysator (9)
- Bipolarplatte (8)

Weitere Schichten (zum Beispiel Gasdiffusionsschichten) wurden entwickelt, um effektiver Brennstoff und Luft in die Zelle und den Strom durch die Zelle zu transportieren.

Als Elektrolyt dient normalerweise eine feste Polymermembran 5, zum Beispiel aus Nafion®, die beidseitig mit einer katalytisch aktiven Elektrode 1, 3 beschichtet ist. Die Katalysatoren, zum Beispiel Platin oder ein Gemisch aus Platin und weiteren Metallen, werden mit Kohlenstoff vermischt und auf die Membran aufgebracht. Während des Betriebs der Brennstoffzelle dissoziieren die Wasserstoffmoleküle auf der Anodenseite und werden unter Abgabe von Elektronen zu Protonen oxidiert. Diese Protonen wandern durch die Membran und reagieren mit Sauerstoffionen zu Wasser. Da die Reaktion bei relativ niedrigen Temperaturen abläuft, stellt die geringe Toleranz



Figur 1: Allgemeiner Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle (aus DE 196 53 484 A1).

gegenüber Kohlenmonoxid (CO) ein Problem dar. Ziel der aktuellen Forschung ist daher, die CO-Toleranz der Membranen zu erhöhen. Durch die Entwicklung von Hochtemperatur-PEMFC, die bei bis zu 200 °C arbeiten, kann die Kohlenmonoxid-Toleranz deutlich erhöht werden.

## 2.2 Direktmethanolbrennstoffzelle (DMFC)

Direktmethanol-Brennstoffzellen wandeln den flüssigen Brennstoff Methanol direkt in elektrischen Strom um. Neben der sehr hohen Energiedichte des Methanols zeichnet sich die DMFC durch die einfache Handhabung und das problemlose Nachfüllen des Brennstoffs aus. Deshalb wird dieser Brennstoffzellentyp für vom Netz unabhängige Geräte, wie Laptops, tragbare Kleingeräte und Campingzubehör, eingesetzt. Auch zur netzunabhängigen Stromversorgung batteriebetriebener Elektrogeräte können portable Direktmethanolbrennstoffzellen eingesetzt werden. In der Patentschrift EP 1 349 223 B1 wird der Aufbau einer derartigen Brennstoffzelle mit einer austauschbaren Brennstoffpatrone beschrieben.

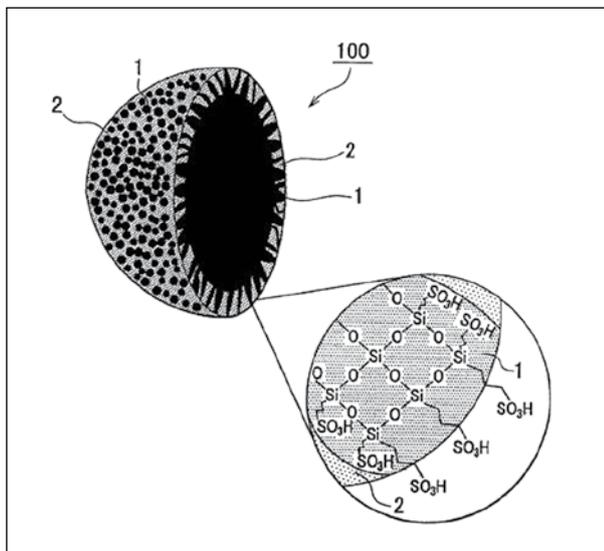
## 2.3 Festoxidbrennstoffzelle (SOFC)

Die Festoxidbrennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell) ist eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle, die bei einer Temperatur von 650 – 1 000 °C betrieben und zur Strom- und Wärmeerzeugung in stationären Anlagen genutzt wird. Der Elektrolyt dieses Zelltyps besteht aus einem festen keramischen Werkstoff, der in der Lage ist, Sauerstoffionen zu leiten, für Elektronen jedoch isolierend wirkt. Allgemein wird dazu Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumdioxid (YSZ) verwendet. Die Kathode ist ebenfalls aus einem keramischen Werkstoff (Strontium-dotiertes Lanthanmanganat) gefertigt, der für Ionen und für Elektronen leitfähig ist. Die Anode wird aus Nickel mit Yttrium-dotiertem Zirkoniumdioxid gefertigt und ist ebenfalls für Ionen und Elektronen leitfähig.

### 3 Brennstoffzellen – Aufbau und Komponenten

#### 3.1 Membran-Elektroden-Anordnung (MEA)

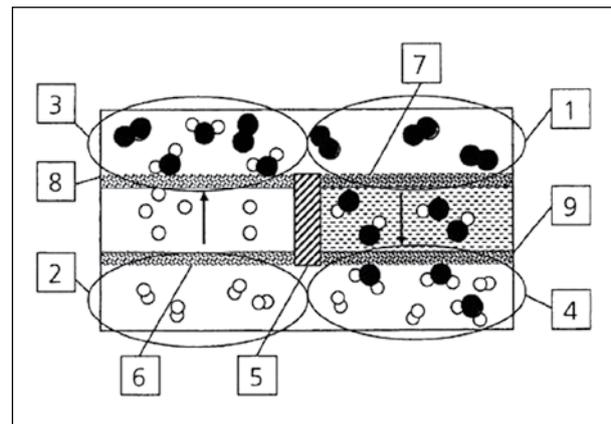
Die am weitesten entwickelte Brennstoffzellentechnologie basiert derzeit auf Polymer-Elektrolyt-Membranen (PEM), wobei die meistverbreitete Membran die sogenannte Nafion®-Membran aus sulfoniertem Polytetrafluorethylen ist. Da deren elektrolytische Leitung über hydratisierte Protonen erfolgt, ist zur Gewährleistung der Leitfähigkeit flüssiges Wasser erforderlich, was eine aufwendige Befeuchtung der Betriebsgase verlangt. Auch kommt es bei solchen Elektrolytmembranen zu Abmessungsänderungen, die durch Veränderung der Wasser- und Wärmebalance der Membran verursacht werden [4]. In der Patentanmeldung DE 10 2008 043 463 A1 wird eine Elektrolytmembran für eine Brennstoffzelle vorgestellt (Figur 2), bei der solche Abmessungsänderungen durch Verwendung eines protonenleitfähigen Materials 100, in dem hohle anorganische feine Teilchen 2 mit Durchgangslöchern auf deren Oberflächen mit einem Elektrolytharz 1 befüllt sind, und eines nicht-protonenleitenden Materials unterbunden werden.



Figur 2: Schnittdiagramm eines gepulverten protonenleitfähigen Materials (aus DE 10 2008 043 463 A1).

In der Patentanmeldung DE 10 2007 053 739 A1 wird versucht, ein Austrocknen der Elektroden aufgrund der Zuführung gasförmiger Reaktanten durch Verwendung einer Membrananordnung zu verhindern,

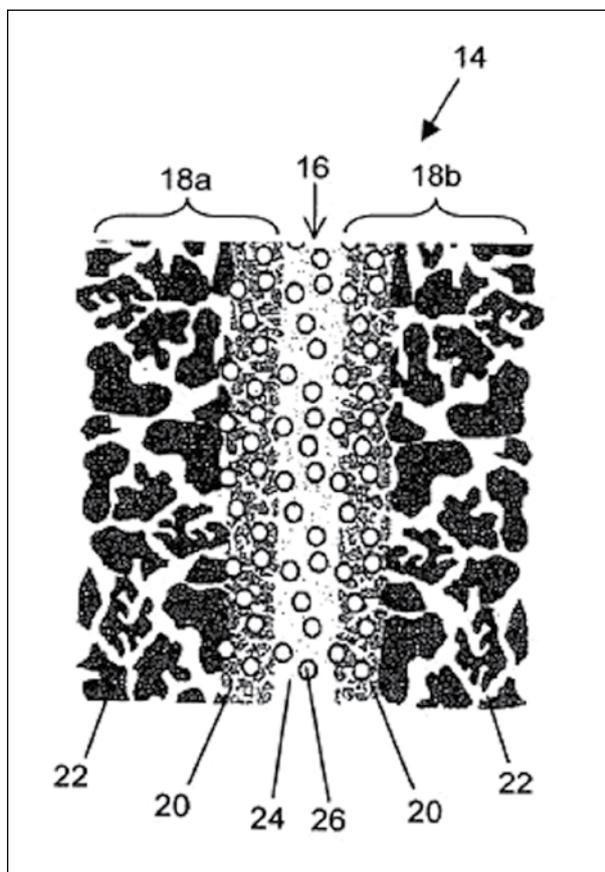
die protonenleitende Bereiche (Oxidationselektrode 6, Reduktionselektrode 8) und anionenleitende Bereiche (Oxidationselektrode 7, Reduktionselektrode 9) aufweist, wodurch Produktwasser sowohl auf der Brennstoffseite als auch der Oxidationsseite entstehen kann (Figur 3).



Figur 3: Brennstoffzelle mit rechtem anionen- und linkem protonenleitenden Bereich (aus DE 10 2007 053 739 A1).

Des Weiteren sind Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen bekannt, die bei Betriebstemperaturen von 120 bis 180 °C arbeiten und keine oder nur eine geringe Befeuchtung benötigen. Die elektrolytische Leitfähigkeit der für diese Zellen verwendeten Membranen beruht auf flüssigen, an das Polymergerüst gebundenen Elektrolyten, die eine ausreichende Protonenleitfähigkeit auch bei trockener Membran und oberhalb des Siedepunkts von Wasser gewährleisten. Allerdings kommt es durch die Beladung mit dem Elektrolyten oft zur Erweichung und mechanischen Destabilisierung der Membran. In der Patentanmeldung DE 10 2008 009 437 A1 wird eine Membran-Elektroden-Einheit 14 für vorgenannte Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen vorgestellt, die trotz Elektrolytbeladung eine gute mechanische Stabilität der Membran und gleichzeitig eine gute Anbindung der Membran an die Elektroden 18a, 18b, bestehend aus einer Gasdiffusionsschicht 22 und einer mikroporösen Katalysatorschicht 20, gewährleistet (Figur 4). Dies wird dadurch erreicht, dass die Flachseiten der mit dem Elektrolyten 26 imprägnierten Polymermembran 24 eine strukturelle und / oder chemische Oberflächenmodifikation aufweisen, wodurch der elektrolytische Kontaktwiderstand

zwischen Membranbasismaterial und der daran anschließenden Elektrode reduziert wird.



Figur 4: Membran-Elektroden-Einheit (aus DE 10 2008 009 437 A1).

### 3.2 Katalysatoren

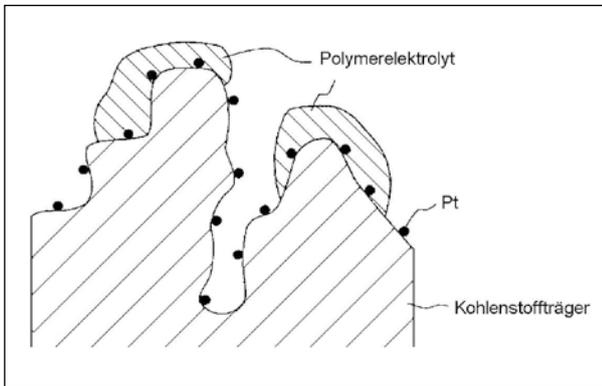
Derzeit basieren die PEM-Brennstoffzellensysteme auf Platin-Katalysatoren mit einem Kohlenstoffträger. Die größte Herausforderung bei der Kommerzialisierung von Wasserstoff-Brennstoffzellen besteht in den hohen Materialkosten für das teure Edelmetall Platin, das zurzeit noch in erheblichen Mengen notwendig ist, um Wasserstoff und Luftsauerstoff ausreichend schnell in Elektrizität und Wasser umzuwandeln. Die Entwickler arbeiten daher daran, den Platineinsatz weiter zu verringern, indem sie die Platinmenge auf der Membran optimieren.

In der Anmeldung DE 11 2004 002 094 T5 wird eine variable Katalysatorbeladung auf Grundlage der Strömungsfeldgeometrie vorgeschlagen. Die Kata-

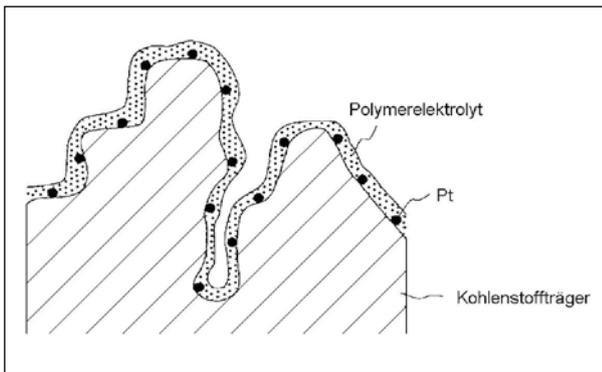
lysatobeladung der Elektrode variiert gemäß der Geometrie der Kanäle, die in dem Strömungsfeld enthalten sind. Bevorzugt umfasst das mit Katalysator versehene Umfangsgebiet eine Katalysatorbeladung, die kleiner als eine Katalysatorbeladung in dem zentralen, mit Katalysator versehenen Gebiet ist.

Die Elektrodenreaktionen in den Katalysatorschichten von Anode und Kathode einer Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle laufen an einer Drei-Phasen-Grenze ab, wo gleichzeitig Reaktionsgas, Katalysatoren und ein fluorhaltiger Elektrolyt vorhanden sind. So muss erstens eine elektrisch leitfähige Anbindung der Katalysatorpartikel der Elektroden an einen äußeren Stromkreis gegeben sein, zweitens müssen die Katalysatorpartikel ionisch leitfähig mit der Elektrolytmembran verbunden sein, um eine optimale Zu- und Abfuhr der Protonen zu gewährleisten, und drittens müssen die Katalysatorpartikel gut für die Reaktionsgase zugänglich sein. In den Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen sind die Katalysatorschichten aus Katalysatoren hergestellt, die mit einem fluorhaltigen Elektrolyten beschichtet sind. Die Katalysatoren bestehen zum Beispiel aus einem Rußträger mit einer großen spezifischen Oberfläche, der einen Metallkatalysator, wie Platin, trägt. Gemäß herkömmlichen Verfahren zum Herstellen einer Katalysatorschicht werden Elektrolyte, wie Nafion®, und Katalysatorpulver aus Platin/Kohlenstoff in einem Lösungsmittel dispergiert und die so erhaltene Tinte wird gegossen und anschließend getrocknet. Die Katalysatorpulver weisen oft Poren auf, die nur bis mehrere zehn Nanometer groß sind. Daher können Elektrolyte, welche Polymere mit großen Molekülen umfassen, nicht in solch kleine Poren eindringen (siehe Figur 5). In einem solchen Fall wird angenommen, dass die Elektrolyte lediglich die Oberfläche des Katalysators bedecken. Entsprechend kann in kleinen Poren vorliegendes Platin nicht effektiv eingesetzt werden, was eine Verschlechterung des Leistungsvermögens des Katalysators bewirkt. In der Anmeldung DE 11 2006 003 185 A1 wird daher vorgeschlagen, eine Katalysatorpaste, deren Katalysatorpartikel sich in den Poren eines Kohlenstoffträgers mit Poren in der Größenordnung von Nanometern befinden, mit einem Monomerelektrolyten zu vermischen und in situ den

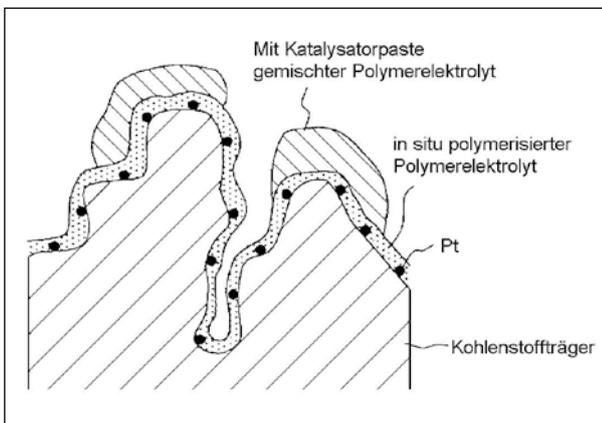
Polymerelektrolyten zu erzeugen. Dadurch wird die Drei-Phasen-Grenze vergrößert (siehe Figuren 6 und 7) und die Effizienz des Katalysators verbessert.



Figur 5: Eine schematische Ansicht eines herkömmlichen katalysatortragenden Kohlenstoffträgers (aus DE 11 2006 003 185 A1).



Figur 6: Eine schematische Ansicht eines katalysatortragenden Trägers, der einen Kohlenstoffpartikel und Polymeralektrolyt umfasst (aus DE 11 2006 003 185 A1).



Figur 7: Eine schematische Ansicht eines katalysatortragenden Trägers, der einen Kohlenstoffpartikel, Polymeralektrolyt, der in situ polymerisiert wurde, und Polymeralektrolyt, der mit einer Katalysatorpaste gemischt wurde, umfasst (aus DE 11 2006 003 185 A1).

Als nachteilig hat sich herausgestellt, dass die bekannten Katalysatoren durch das im Brennstoffgas enthaltene Kohlenmonoxid (CO) vergiftet werden können. Das Kohlenmonoxid wird vorzugsweise an den Reaktionszentren des Platins absorbiert und schädigt den Katalysator dabei irreversibel. Durch die Vergiftung des Katalysators wird die Effizienz der elektrochemischen Reaktion wesentlich verschlechtert. Zusätzlich kann bei stärkerer Vergiftung die Langzeitstabilität der Brennstoffzelle beeinträchtigt werden. Deshalb schlägt die Anmeldung DE 10 2009 001 153 A1 ein Elektrodenenelement vor, welches auch bei hoher Kohlenmonoxidkonzentration betrieben werden kann, ohne dass eine Vergiftung des Katalysators auftritt. Das erfindungsgemäße Elektrodenenelement zeichnet sich dadurch aus, dass die Konzentration des Katalysators entlang des Strömungsweges zunimmt, um eine vollständige Vergiftung des Katalysators mit inaktivierenden Substanzen zu verhindern. Des Weiteren weist das Elektrodenenelement einen Oxidationskatalysator auf, um die inaktivierenden Substanzen zu oxidieren. Die Konzentration des Oxidationskatalysators nimmt entlang des Strömungsweges ab.

Mit fortschreitender Betriebsdauer der Brennstoffzellen tritt eine Verringerung der katalytischen Aktivität auf. Dieses Phänomen wird durch die Ablagerung von Oxiden auf der Oberfläche des Platins, das in der Oxidationsmittelelektrode verwendet wird, verursacht. Die nutzbare Fläche der aktiven Platinoberfläche als Ergebnis eines Anstiegs der oxidbedeckten Flächen wird geringer, so dass die Brennstoffzellen-Leistungsfähigkeit abnimmt. Aus diesem Grund ist es wichtig, Oxidablagerungen zu entfernen, um eine normale Brennstoffzellen-Leistungsfähigkeit aufrecht zu erhalten. So schlägt die Anmeldung DE 10 2006 007 077 A1 ein Verfahren vor, in dem der Brennstoffelektrode, bei elektrischer Verbindung der Brennstoffelektrode und der Oxidationsmittelelektrode miteinander, Brennstoff zugeführt wird, um an der Oxidationsmittelelektrode unter Verwendung des an dieser Elektrode erzeugten Wasserstoffs ausgeführt, wodurch Oxidablagerungen auf der Oxidationsmittelelektrode beim Anfahren aus Betriebsstillstandsbedingungen reduziert werden.

Die Lebensdauer einer Brennstoffzelle ist in erster Annäherung durch die Anzahl der Start-Stopp-Zyklen bestimmt, da diese die ungünstigste Auswirkung auf die Katalysatoren zeigen. Daher wird auch nach Verfahren gesucht, die den Katalysator regenerieren können. Die Anmeldung DE 11 2009 000 223 A1 beschreibt ein Verfahren zum Regenerieren des Katalysators, in dem beim Starten einer Brennstoffzelle ein Vorgang zum Wiederherstellen der Strom-/Spannungskennwerte der Brennstoffzelle ausgeführt wird. Indem ein Mangel an einem der Anode zugeführten Brenngas und/oder einem der Kathode zugeführten Oxidationsgas hervorgerufen wird, wird die Überspannung eines Teils einer Elektrode erhöht, wodurch Wärme erzeugt, die Brennstoffzelle erhitzt und der Elektrodenkatalysator reduziert wird.

Bezüglich des Platineinsatzes ist eine differenziertere Betrachtung nötig, da je nach Anwendung und Brennstoffzellen-Typ unterschieden werden muss. Zum Beispiel ist in oxidkeramischen Hochtemperatur-Brennstoffzellen (SOFC) überhaupt kein Edelmetall, wie Platin, notwendig. Hingegen ist Platin bei Niedertemperatur-Brennstoffzellen, wie den Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen (die vorrangig in der Autoindustrie eingesetzt werden), ein wichtiger Katalysator. Um die Kosten der Niedertemperatur-Brennstoffzellen zu senken, wurde eine Brennstoffzelle entwickelt, die kein Platin benötigt. Stattdessen kommen billigere Materialien, wie Silber oder Kobalt, zum Einsatz. Es handelt sich hierbei um eine alkalische Brennstoffzelle, die anstelle eines flüssigen Elektrolyten über eine Membran verfügt, die für den OH-Ionentransport verantwortlich ist. Sie arbeitet bei niedrigen Temperaturen und mit reinem Wasserstoff. Diese Brennstoffzelle wurde in der Anmeldung WO 2010/096797 A1 beschrieben.

### 3.3 Brennstoffzellenstapel und Dichtungen

Die Leerlaufspannung einer einzelnen PEMFC beträgt circa 0,9 V. Durch Stapeln vieler Brennstoffzellen und deren Verschaltung in Reihe lässt sich die Leistung der so gebildeten Stacks variieren und den jeweiligen Anforderungen anpassen. Die Gesamt-

spannung des Stapels entspricht dann der Summe der elektrischen Spannungen der einzelnen Brennstoffzellen. Beim Stapeln einzelner Brennstoffzellen ist die gasdichte Abdichtung der einzelnen Bauteile problematisch. Deshalb müssen beim Aufeinanderlegen der plattenförmigen Bauteile zur gasdichten Abdichtung sowohl innerhalb der Bauteile als auch nach außen Dichtungen eingefügt werden. Diese Dichtungen müssen schnell und exakt auf den Platten positioniert werden können.

In der DE 11 2008 000 004 T5 wird die Nutzung von Dichtungen vorgeschlagen, die aus zwei Materialien mit unterschiedlichen Elastizitätsmodulen bestehen. Das steifere Material mit dem kleineren Elastizitätsmodul gewährleistet eine exakte Positionierung der Dichtung auf den Platten. Das weichere Material mit dem höheren Elastizitätsmodul garantiert durch seine gute Verformbarkeit eine gute Dichtwirkung zwischen den einzelnen Bauteilen.

Die Dichtungen beziehungsweise Rahmen können auch in einem Arbeitsgang im geschmolzenen beziehungsweise flüssigen Zustand an den Platten/Bauteilen angebracht werden. In der US 2002/0122970 A1 werden Separatorplatten mit integrierten Dichtungen beschrieben. Die Separatorplatten weisen auf ihren Oberflächen geprägte Kanalsysteme auf, wodurch sich beim Stapeln geschlossene Kanalsysteme ergeben. An der Peripherie der Platten sind spezielle Vertiefungen und Hohlräume angeordnet, die zur Aufnahme des Dichtungsmaterials dienen. Das Dichtungsmaterial wird im geschmolzenen Zustand über einen Kanal in die Vertiefungen beziehungsweise Hohlräume am Plattenrand injiziert. Diese Dichtungen dichten sowohl die Kanäle innerhalb eines Brennstoffzellenstapels als auch den Stapel gegen die äußere Umgebung ab. Zusätzlich beabstanden sie weitere Teile des Brennstoffzellenstapels zu den Separatorplatten und bestimmen gleichzeitig auch den Abstand zwischen zwei Separatorplatten.

Das Patent US 6 372 373 B1 betrifft einen Brennstoffzellenstapel mit ringförmigen Dichtungen zur Abdichtung von Gaszuführkanälen beziehungsweise von Kühlmittelkanälen. In einem Ausführungsbeispiel

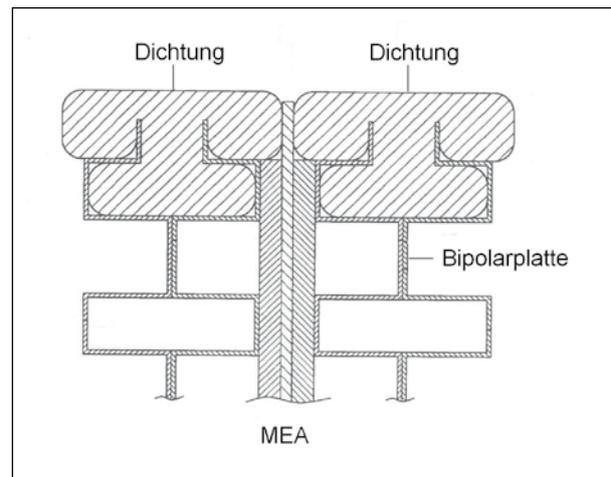
werden geeignet dimensionierte Abstandhalter zwischen einer Separatorplatte und einer Membran positioniert. Außerdem kann durch entsprechende Formgebung der Separatorplatte am äußeren Rand die Höhe der eingebrachten Dichtungen festgelegt werden.

Das Mittel zum Abdichten gemäß der DE 103 01 052 B4 weist zwei Abdichtfunktionen auf: zum einen die Abdichtung des inneren Kanalsystems einer Bipolarplatteneinheit und zum anderen die Abdichtung des Inneren einer Einzelzelle eines Brennstoffzellenstapels, das heißt des Raumes, der von einer Bipolarplatteneinheit einerseits und einer MEA andererseits begrenzt wird (Anoden- oder Kathodenraum). Da alle Dichtungen in der Bipolarplatteneinheit integriert sind, vereinfacht sich auch die Herstellung der MEA, da auf oder an ihr im Wesentlichen kein Mittel zum Abdichten angebracht werden muss und /oder keine aufwendigen Maßnahmen für die Aufnahme eines Mittels zum Abdichten getroffen werden müssen (siehe Figur 8). Die Herstellung einer elektrochemischen Zelle oder eines Zellstapels vereinfacht sich auch hinsichtlich der Handhabung der Bauteile, da lediglich zwei Bauteile miteinander verbunden werden müssen, nämlich Bipolarplatteneinheit (mit integriertem Mittel zum Abdichten) und MEA.

### 3.4 Bipolarplatten

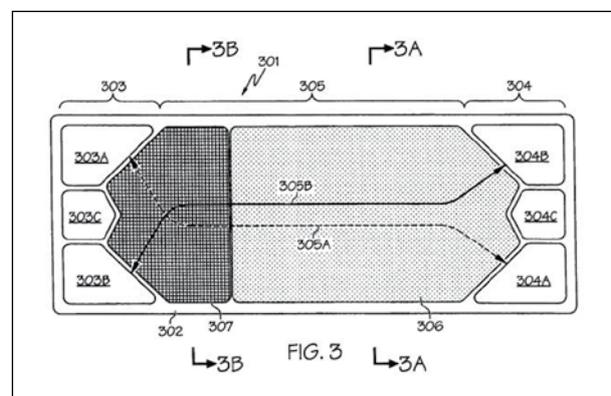
Bipolarplatten ermöglichen die Zusammenschaltung der Einzelzellen einer Brennstoffzelle zu einem Brennstoffzellenstapel. Sie dienen der Zuführung und Verteilung von Wasserstoff und Sauerstoff, der räumlichen Trennung der Einzelzellen sowie zur Austragung der Reaktionsprodukte (Wasser) und der entstehenden Wärme.

Bei PEM-Brennstoffzellen, die einen ausgeglichenen Wasserhaushalt für einen sicheren Betrieb benötigen, ist man stets bemüht, den Umfang und die Komplexität zusätzlicher Befeuchtungseinrichtungen zu begrenzen. In der Patentanmeldung DE 10 2007 008 214 A1 wird durch eine besondere Konstruktion einer Strömungsfeldplatte (Bipolarplatte 301 mit aktivem Gebiet 306, in dem die elektrochemische Reaktion stattfindet,



Figur 8: Abdichtung in einem Brennstoffzellenstapel (aus DE 103 01 052 B4)

und inaktivem Gebiet 307, in dem die Wasserübertragung zwischen feuchtigkeitsreichen und feuchtigkeitsarmen Strömungspfaden stattfindet) dafür gesorgt, dass Wasser von einem feuchtigkeitsreichen Abschnitt der Brennstoffzelle in einen Abschnitt befördert wird, der eine Befeuchtung erfordert (vergleiche Figur 9).



Figur 9: Bipolarplatte mit aktivem und inaktivem Gebiet (aus DE 2007 008 214 A1).

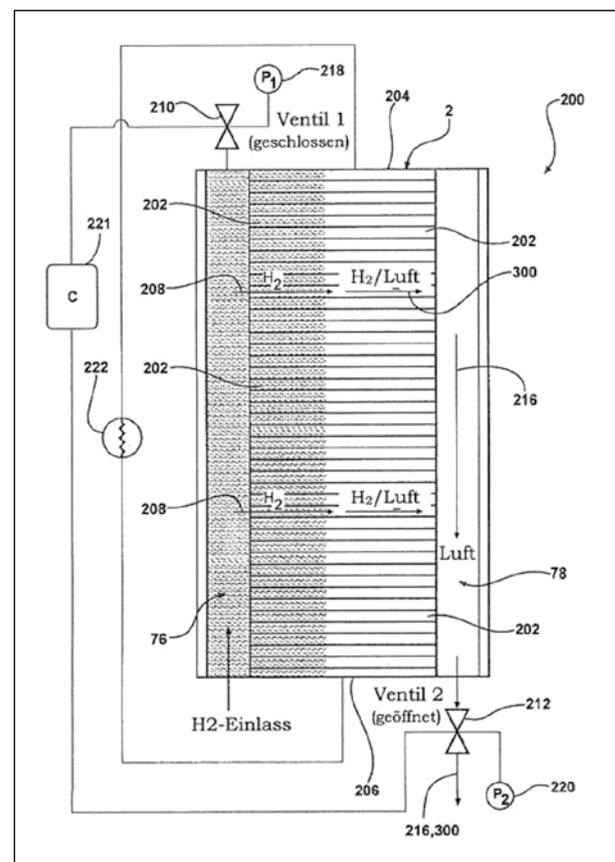
## 4 Betriebsverfahren

Ein anderer Forschungsschwerpunkt in der Brennstoffzellentechnik umfasst die Optimierung der Prozesse zum Betrieb von Brennstoffzellensystemen. In Fahrzeugen mit einem auf Brennstoffzellen basierendem Antrieb müssen die Brennstoffzellen verschiedene Anforderungen erfüllen. So müssen ein schneller Start bei Minusgraden, eine sinnvolle Abschaltprozedur bei Fahrtende, wechselnde Lastanforderungen durch

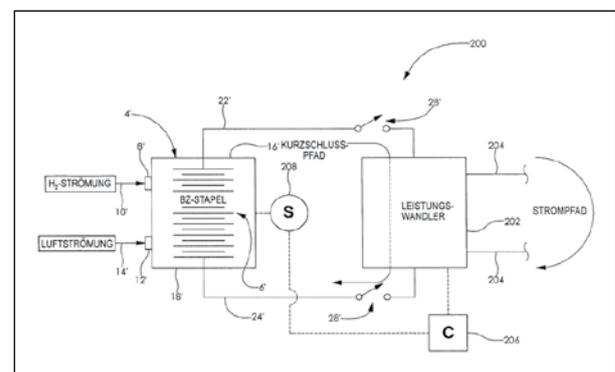
Beschleunigung und Bremsen gewährleistet sein. In der Patentschrift DE 10 2007 026 332 B4 wird durch eine geeignete Steuerung des Brennstoffzellensystems sichergestellt, dass es bei Übergängen zu Niedrigleistungszuständen (Leerlauf) nicht zu einem Ansammeln von Wasser in den Kathodenströmungskanälen und damit zur Reduzierung der Leistungsfähigkeit kommt. Und zwar wird in diesem Fall eine ansonsten verwendete Wasserdampfübertragungsvorrichtung umgangen, um trockene Kathodenluft an den Brennstoffzellenstapel zu liefern.

Ein nicht zu unterschätzendes Problem bei PEM-Brennstoffzellen für Kraftfahrzeuganwendungen ist die Korrosion der Kohlenstoffkatalysatorträger und Metallkatalysatoren, welche beim Anfahren und Abschalten der Brennstoffzellen stattfindet. Bei typischen Automobilanwendungen müssen die Zellen 50 000 bis 100 000 Anfahr-/Abschaltzyklen durchlaufen, was zu einem katastrophalen Leistungsverlust führt. Als Alternative zum Abführen der beim Anfahren oder Abschalten anfallenden elektrischen Energie an eine Hilfslast oder andere spannungsbegrenzende Einrichtung, welche aufwendige Systeme zur Abführung der erzeugten Wärme erfordern, wird in der Patentanmeldung DE 11 2004 001 762 T5 vorgeschlagen, die überschüssige Energie in einem Energiespeicher (zum Beispiel einer elektrischen Batterie oder einem Kondensator) zu speichern. Da nach dem Abschalten eines Brennstoffzellensystems Luft vom Kathodenbereich in den Anodenbereich diffundiert und sich dort ansammelt, ist es bei einem nachfolgenden Start erforderlich, die Luft mittels Wasserstoffgas aus den Anoden zu spülen. Diese Spülung muss schnell erfolgen, da beim Wandern der Wasserstoff-Luft-Front über die Anoden hinweg eine hohe elektrische Spannung erzeugt wird, die vorgenannte Kohlenstoffträger und Katalysatoren degradiert. Verschiedene Startprozeduren, um die Zeitdauer der Wasserstoff-Luft-Front und die durch die Front erzeugte Spannung zu minimieren, werden in den nachfolgenden Patentanmeldungen beschrieben: DE 10 2008 047 387 A1 (mittels Starterbatterie in elektrischer Verbindung mit einem Luftkompressor), DE 10 2008 047 390 A1 (mittels der Ventile 1 und 2 in Fluidverbindung mit dem Anodenzufuhrverteiler und dem Anodenauslassverteiler, siehe Figur 10), DE 10 2008 047

393 A1 (mittels Belastung durch eine Hilfslast und anschließend mit Systemkomponenten, bis jeweils vorbestimmte Bedingungen erfüllt sind) und DE 10 2009 004 375 A1 (Verwendung von Komponenten, zum Beispiel dem Leistungswandler 202, des Brennstoffzellensystems 200 zum Kurzschließen des Brennstoffzellenstapels 4' während der Inbetriebnahme, dargestellt in Figur 11).

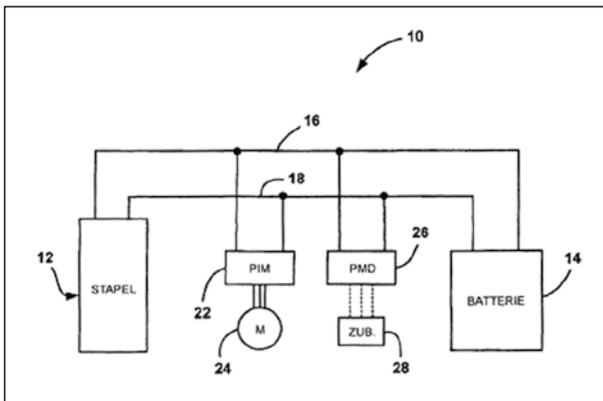


Figur 10: Wasserstoffspülung des Brennstoffzellenstapels (aus DE 10 2008 047 390 A1).



Figur 11: Brennstoffzellensystem mit Kurzschlussvorrichtung (aus DE 10 2009 004 375 A1).

Die dynamische Begrenzung der Leistungsfähigkeit eines Brennstoffzellensystems kann zu nicht akzeptablen Verhältnissen bei dessen Verwendung in einem Fahrzeug führen (zum Beispiel Zeitverzögerung beim Start, geringe Beschleunigung). Diese Nachteile können jedoch durch eine parallel zum Brennstoffzellenstapel 12 geschaltete, wieder aufladbare ergänzende Leistungsquelle 14 (zum Beispiel eine Hochspannungsbatterie oder einen Superkondensator) minimiert werden (Figur 12). Die ergänzende Leistungsquelle liefert dann Leistung für Fahrzeugzubehörlasten, beim Systemstart und bei Hochleistungsbedarf. Ein derart zusammengesetztes Hybrid-Brennstoffzellensystem ist in der Patentanmeldung DE 10 2007 038 172 A1 beschrieben.



Figur 12: Hybrid-Brennstoffzellensystem, das einen Brennstoffzellenstapel und eine Hochleistungsbatterie aufweist (aus DE 10 2007 038 172 A1).

Die DE 10 2008 063 088 A1 beschreibt ein Steuergerät für Brennstoffzellensysteme, das dem Brennstoffzellensystem die voraussichtliche Fahrtzeitdauer und / oder den voraussichtlichen Fahrtzeitpunkt einer Fahrt mitteilt. Durch die Steuerung kann dann das Brennstoffzellensystem gezielt so betrieben werden, dass gemäß einer ersten Lösung eine Abschaltprozedur zeitlich so durchgeführt wird, dass diese bei Erreichen des erwarteten Fahrtendes zeitnah vorher oder nachher oder gleichzeitig beendet ist. Bei Erreichen des Fahrtendes ist das Brennstoffzellensystem bei der vorgeschlagenen Vorgehensweise somit im Wesentlichen abgeschaltet. Hierdurch ergibt sich ein Ressourcen schonender Betrieb für das Brennstoffzellensystem. Ferner können auch zeitlich länger dauernde Abschaltprozeduren realisiert werden, die

eine besonders schonende Abschaltung der einzelnen Komponenten des Brennstoffzellensystems ermöglichen. Das Brennstoffzellensystem kann schrittweise von einem Vollastbetrieb über mehrere, abgestufte Teillastbetriebe in einen unbelasteten Betrieb überführt werden, um es dann auszuschalten. Hierdurch steht der Abschaltprozedur ausreichend Zeit zur Verfügung, um eine Rußbildung innerhalb des Brennstoffzellensystems beziehungsweise Schadstoffemissionen oder Brandgefahren beim Abstellen des Fahrzeugs zu vermeiden.

Beim Einbau der Brennstoffzellensysteme in Fahrzeuge werden auch die schon in konventionellen Fahrzeugen mit Brennkraftmaschinen vorhandenen Systeme, zum Beispiel Kühlungen, Einrichtungen zur Abgasnachbehandlung, Energiespeicher, integriert.

Die Anmeldung DE 10 2006 055 198 A1 basiert auf dem Gedanken, Kondenswasser, das beim Betrieb der Kühl- und Klimaeinrichtung anfällt, dem Brennstoffzellensystem zuzuführen. Hierzu schlägt die Anmeldung eine Wasserzuführeinrichtung zum Versorgen des Brennstoffzellensystems mit dem Kondenswasser der Kühleinrichtung des Kraftfahrzeugs vor. Mithilfe von Wasser oder Wasserdampf kann im Reformier des Brennstoffzellensystems Wasserstoffgas enthaltendes Anodengas generiert werden. In der DE 100 15 651 B4 kann das Kondenswasser der Kühleinrichtung auch zum Befeuchten der Betriebsgase des Brennstoffzellensystems eingesetzt werden.

In der DE 10 2008 045 147 B4 wird ein effizientes Direktmethanol-Brennstoffzellensystem zur Strom- und Wärmeerzeugung beschrieben. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Brennstoffzellenanlage dabei so kompakt und einfach wie möglich zu bauen. Dabei sind die Temperaturen des Restgasbrenners und des Reformers im Betrieb etwa gleich hoch und betragen etwa 750 °C. Die beiden Komponenten werden deshalb in eine Einheit integriert. Äußerst vorteilhaft ist dabei, die Einheit in Form eines Wärmetauschers mit katalytischer Beschichtung auszuführen. Diese Integration ist besonders für das Startverhalten bei Minusgraden von Vorteil, da der Restgasbrenner seine Wärme beim System-

start an den Reformer unmittelbar durch Wärmeleitung/Strahlung übertragen kann.

## 5 Recycling

Einige Teile der Brennstoffzellen bestehen aus wertvollen Materialien, die nicht unbeschränkt verfügbar sind. Daher wäre es wünschenswert, am Lebensende der Brennstoffzelle aus den bipolaren Platten diese wertvollen Materialien wieder zu gewinnen. Die Anmeldung DE 10 2007 038 246 A1 beschreibt ein Verfahren zum Wiedergewinnen von Rutheniumoxid oder von Gold und von Titan aus einer bipolaren Platte, um diese Materialien anschließend in anderen Brennstoffzellenstapeln einzusetzen. Die bipolare Platte wird in eine geeignete Säure eingetaucht, welche das Titan oder das Titanoxid auflöst. Das Rutheniumoxid oder das Gold wird von der Platte abgelöst und flотиert auf der Lösung, von der es entfernt werden kann. Die Lösung wird dann erhitzt, um die Säurelösung zu verdampfen, was ein Pulver des Titanoxids zurücklässt. Das Substrat aus rostfreiem Stahl der bipolaren Platte wird dann von dem Titan gereinigt und kann wieder verwendet werden.

Die Anmeldung DE 10 2009 004 196 A1 beschreibt ein Verfahren zum Regenerieren eines Separators für eine Brennstoffzelle mit einem Substrat aus Titan oder einer Titanlegierung und einem darauf ausgebildeten leitenden Film. Das Verfahren umfasst das Entfernen des leitenden Films von dem Separator und auch des Entfernen eines Teils der Oberfläche des Substrats, wodurch ein regeneriertes Substrat erhalten wird. Danach wird auf dem regenerierten Substrat ein leitender Film ausgebildet.

Die Patentschrift DE 10 2009 034 314 B4 betrifft ein Verfahren zur materialelektiven Zerkleinerung von Brennstoffzellenstacks. Dabei wird im ersten Schritt der komplette Brennstoffzellenstack in einen Zerkleinerungsreaktor eingebracht, der mit Wasser gefüllt ist. Seitlich an den Klebeflächen der Bipolarplatten wird ein Elektrodensystem entlang geführt, welches von einem Impulsgenerator mit elektrischen Impulsen gespeist wird. Dadurch werden im Elek-

trodensystem starke Schallwellen beziehungsweise Schockwellen erzeugt, welche auf die Seitenflächen treffen. Diese bewirken eine Zerstörung der Integrität der Verklebung. Nachfolgend können die einzelnen Wiederholeinheiten auseinandergenommen werden, beziehungsweise fallen von allein auseinander. In einem zweiten Schritt werden von den einzelnen Wiederholeinheiten die anhaftenden Elektroden und der Elektrolyt entfernt, so dass gereinigte Bipolarplatten übrig bleiben und die restlichen Bestandteile entfernt und selektiert werden können (zum Beispiel durch eine Siebung). Dieser Prozess kann mechanisch mithilfe von Bürsten geschehen oder ebenfalls, wie im ersten Schritt, mithilfe von elektrohydraulisch generierten Schockwellen. Dazu wird wiederum das Elektrodensystem über die Oberfläche der Wiederholeinheiten geführt, so dass die gesamte Oberfläche der Bipolarplatte überstrichen wird. Durch die Einwirkung der Schockwellen wird ihre Oberfläche von allen anhaftenden Bestandteilen gesäubert.

## 6 Ausblick

Im Mittelpunkt eines der Zukunftsprojekte des Bundeswirtschaftsministeriums steht die weitere Forcierung der Elektromobilität, bei der langfristig auf die Verwendung fossiler Energieträger verzichtet werden soll.

Der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband DWV hat als Trend des Jahres 2011 beobachtet, dass die Fahrzeug- und Kraftstoffindustrie weiterhin zielstrebig am Kraftstoff Wasserstoff arbeitet [5]. Die meisten großen Fahrzeughersteller wollen 2015 mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen-Serienfahrzeuge anbieten. Hierzu muss allerdings rechtzeitig eine geeignete Tankstellen-Infrastruktur vorhanden sein.

Wie kürzlich in einem Gutachten des Unabhängigen Instituts für Umweltfragen UfU ermittelt wurde, erreichen Antriebe mit Wasserstoff und Brennstoffzellen bei den Bürgern eine hohe Akzeptanz. In dem Bürgervotum kommt auch zum Ausdruck, dass das Wasserstoffauto nur dann eine Zukunftsoption ist, wenn der Wasserstoff mithilfe erneuerbarer Energie-

quellen hergestellt wird und das Wasserstoffauto für die Mehrheit der Bevölkerung bezahlbar ist. Die weitere Entwicklung alternativer Antriebe soll im Übrigen technologieoffen gestaltet werden.

Für 2012 prognostiziert der DWV, dass die politische Willensbildung mit den technischen Möglichkeiten bei weitem nicht Schritt halten wird und somit auch in diesem Jahr für den Klimaschutz zu wenig und vieles davon zu spät getan werden wird. Denn eigentlich könnten wir es viel besser [5].

### Literatur

- [1] Die Bundesregierung: Mobilität aus der Steckdose, 18.05.2011, URL: <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2011/05/2011-05-16-elektromobilitaet-elektroautos.html> [abgerufen am 07.05.2012]
- [2] U.S. Department of Energy: Fuel Cells, URL: [http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc\\_challenges.html](http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_challenges.html) [abgerufen am 07.05.2012]
- [3] P. KURZWEIL: Brennstoffzellentechnik-Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen, 1. Auflage, Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn, 2003. S. 7-12, 105-117. -ISBN 3-528-03965-5
- [4] S. M. J. ZAIDI: Membrane, Polymer Membranes for fuel cells. New York: Springer, 2009, -XVII. S. S. 7-26, 33-34. -ISBN 978-0-387-73532-0
- [5] Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV), Jahresbericht 2011

# Elektrische Kraftfahrzeugantriebstechnik

Dipl.-Ing. Martin Czech, Dr. Andreas Meixner, Dipl.-Ing. Johannes Öttl, Patentabteilung 1.32

Chemische Reaktionen haben die absolut höchsten Energiedichten, wenn man einmal von den Kernreaktionen absieht. Der auf die Masse bezogene Kennwert von Benzin liegt bei etwa 40 Megajoule pro Kilogramm. Die besten elektrochemischen Akkumulatoren erreichen noch nicht einmal ein Zehntel dessen und elektrische Kondensatoren weniger als ein Tausendstel. Aber elektrische Antriebe haben gegenüber allen Wärmekraftmaschinen einen um das Doppelte höher liegenden Wirkungsgrad und mit der Reversibilität ein Alleinstellungsmerkmal. Sie können Wärmekraftmaschinen im Kraftfahrzeugbereich durchaus Konkurrenz machen, allerdings sind dazu erhebliche Entwicklungsanstrengungen nötig.

## 1 Die steigende Attraktivität elektrischer Fahrtriebe

Der absehbare Rückgang der weltweit geförderten Menge an Rohöl nach Überschreiten des „peak-oil“, sowie der ungebrochene Trend zur individuellen Mobilität veranlassen die Hersteller von Kraftfahrzeugen vermehrt zur Entwicklung elektrischer Fahrzeugantriebe. Schätzungen gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2035 mindestens 70% der Personenkraftwagen ganz oder teilweise elektrisch angetrieben sein werden [1]. Dabei ist das Prinzip elektrisch angetriebener Automobile keineswegs neu. Am Beginn der Entwicklungsgeschichte spielte der elektrische Antrieb sogar eine weit größere Rolle als der Verbrennungsmotor. So wird dem US-Amerikaner Thomas Davenport der Bau des ersten elektrisch angetriebenen Vehikels im Jahr 1834 zugeschrieben. Um 1899 entwickelten Ferdinand Porsche und Ludwig Lohner gemeinsam Elektromobile, welche bereits mit Radnabenmotoren angetrieben waren. In den USA verbreiteten sich die elektrisch angetriebenen Fahrzeuge relativ schnell. 1912 waren dort bereits über 34 000 Elektrofahrzeuge registriert. Paradoxe Weise trieb ein Fortschritt auf dem Gebiet der elektrodynamischen Maschinen, die Erfindung des elektrischen Anlassers, den Einsatz des Verbrennungsmotors als Antrieb für Kraftfahrzeuge voran. Solche Fahrzeuge konnten bald auch kostengünstiger hergestellt werden und erreichten bessere Reichweiten. Zusätzlich trugen das vor allem in den ländlichen Gebieten noch wenig ausgebaute

elektrische Versorgungsnetz sowie die vergleichsweise niedrigen Preise für fossile Brennstoffe zur Verbreitung des Verbrennungsmotors in Fahrzeugen bei [2].

Die chemische Energiedichte eines Brennstoffs wie Benzin ist immer noch der Energiedichte von elektrischen Energiespeichern weit überlegen. Befriedigende Aktionsradien von Elektrofahrzeugen sind daher nur durch aufwendige Maßnahmen wie der Energierückgewinnung aus Bremsvorgängen möglich. Während bei gewöhnlichen Verbrennungsmotorfahrzeugen die kinetische Energie des Fahrzeugs beim Bremsvorgang mittels Reibungsbremsen irreversibel in nutzlose Wärme umgewandelt wird, können elektrische Antriebsmotoren zum Zweck der Verzögerung generatorisch betrieben werden. Diese Energie wird dann zunächst zwischengespeichert und bei künftigen Beschleunigungsvorgängen wieder verwendet. Die Energiebilanz neuerer Elektrofahrzeuge ist daher herkömmlichen Kraftfahrzeugen deutlich überlegen.

Die bekannten Fortschritte auf dem Gebiet der Mikroelektronik und auch der Leistungselektronik, wo Transistoren mit isoliertem Steuertor (IGBT) ohne Weiteres Kiloampere bei Sperrspannungen von Kilovolt schalten, haben es in den letzten Dekaden ermöglicht, Stator-Drehfelder mit fast beliebiger Kurvenform, Stärke und Frequenz robust und mit geringen Verlusten immer kostengünstiger zu erzeugen. Auch hat sich die Sensorik so entwickelt, dass eine Rotor-

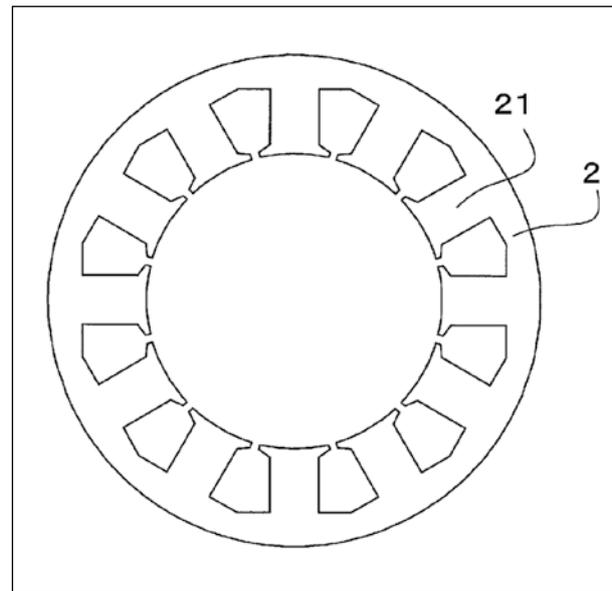
lagebestimmung selbst für sehr preiswerte Motoren möglich ist. Ähnliche Fortschritte sind auf dem Gebiet der Motorregelung zu beobachten. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, dass gegenüber den aus Einführungstexten bekannten Asynchronmaschinen, frequenzfesten Synchronmaschinen oder Gleichstrommaschinen mit mechanischer Kommutierung die elektronisch per Wechselrichter angesteuerten, frequenzvariablen Maschinen dominieren, bei denen das Statorfeld dem Läufer nachgeführt wird und diesen synchron mitzieht. Die Erregung von Rotoren durch Permanentmagnete ist besonders durch die Einführung von Magneten aus den sogenannten „Seltenerden“ Samarium und Neodym noch attraktiver geworden. Es sind damit der elektrischen Erregung vergleichbare Luftspaltfelder bei höherem Wirkungsgrad möglich, da Leitungsverluste im Rotor entfallen. Außerdem kann auf wartungsintensive Schleifringe verzichtet werden.

## 2 Die Maschine

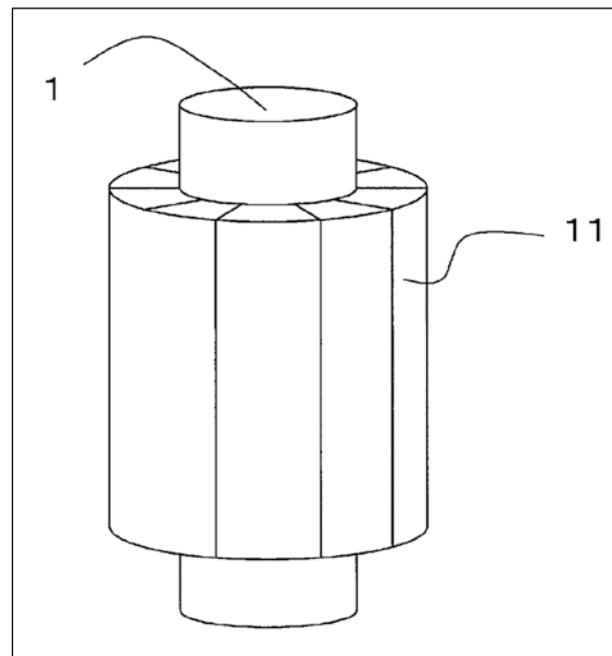
### 2.1 Rotoren mit externen Permanentmagneten

Man würde vielleicht erwarten, dass Läufer für Fahrantriebe mit externen Permanentmagneten (EPM), etwa mit Ringmagneten, konstruiert werden (siehe Figuren 1 und 2).

Man findet solche aber vorwiegend in Hilfsantrieben, zum Beispiel in Lenkhilfen, Fensterhebern und Pumpen. Zum einen sind die Magnete an der Rotoroberfläche vielfachen Einflüssen ausgesetzt. Gerade die Seltenerd magnete sind korrosionsempfindlich und fragil. Zum anderen ist zu bedenken, dass ein Fehlerstrom im Stator ohne sättigbare Eisenschichten im Rotor, die die Magnete abschirmen, zu einer teilweisen oder vollständigen Entmagnetisierung der Magnete führen kann. Dieser Leistungsverlust des Motors dürfte für die Kraftfahrzeugwerkstatt ein ganz neuartiger Fehlertyp sein. Daher kommen meist Rotoren mit internen Permanentmagneten (IPM) zum Einsatz. Diese gibt es in einer großen Zahl von Variationen.



Figur 1: Stator mit konzentrierten Polen (aus WO 2011/114574 A1).



Figur 2: Rotor dazu passend mit Ringmagnet (aus WO 2011/114574 A1).

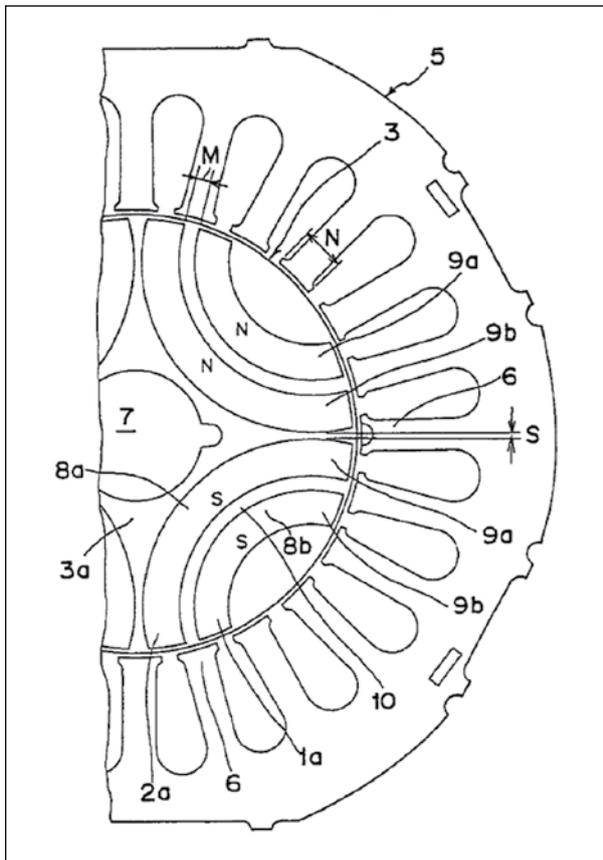
### 2.2 Drehmoment

Das Drehmoment jeder permanent oder elektrisch erregten Maschine und auch jeder Reluktanzmaschine ohne Rotorerregung ist auf drei Anteile zurückzuführen [3], [4], [10].

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} - \frac{1}{2} \phi_m^2 \frac{dR}{d\theta} + Ni \frac{d\phi_m}{d\theta}$$

Figur 3: Allgemeine Formel für das Drehmoment eines Motors.

Der erste Term auf der rechten Seite der in Figur 3 gezeigten Gleichung stellt ein Rotor-Reluktanzmoment dar, das durch das Quadrat der Statorerregung und die winkelabhängige Induktivität des magnetischen Kreises bestimmt ist. Es wäre bemerkbar beim Durchdrehen eines Rotors von Hand mit gleichstromerregtem Stator, aber ohne jede Rotorerregung oder ohne Rotormagnete. Es verschwände nur bei einem perfekten Vollzylinder als Rotor, also bei Isotropie in Bezug auf die Rotation. Der mittlere Term, der dem ersten strukturell vollkommen entspricht, stellt das Stator-Reluktanzmoment dar, das umgekehrt ohne Statorerregung, aber mit permanenter oder elektrischer Rotorerregung auftritt. Es wäre bemerkbar beim Durchdrehen eines permanenterregten Rotors von Hand in



Figur 4: Permanent hilfserregte Reluktanzmaschine (aus DE 696 29 419 T2).

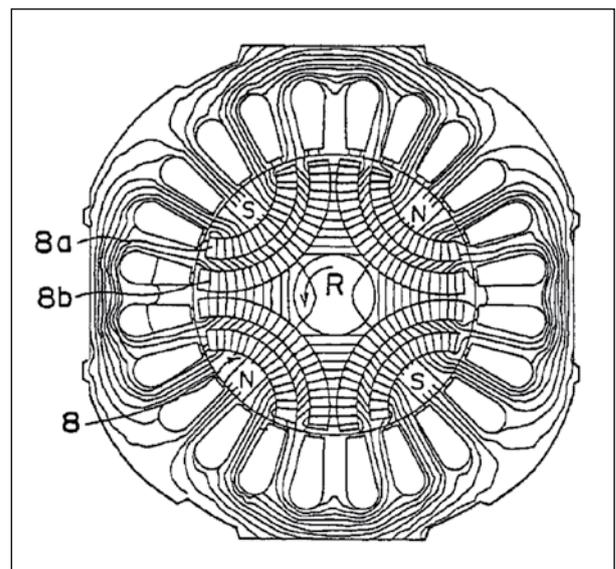
einem nicht angeschlossenen Stator. Es verschwände nur bei einem perfekten Rotationshohlkörper als Stator. Es sind aber immer Nuten, Polschuhe oder andere Unregelmäßigkeiten im Stator enthalten, die eine Winkelabhängigkeit des Feldbildes bedingen.

Der letzte Term schließlich beschreibt das gegenseitige Drehmoment von Stator- und Rotorerregung, also das, was man vielleicht zuallererst als das Nutzdrehmoment eines Motors erwartet.

### 2.3 Die hilfserregte Reluktanzmaschine

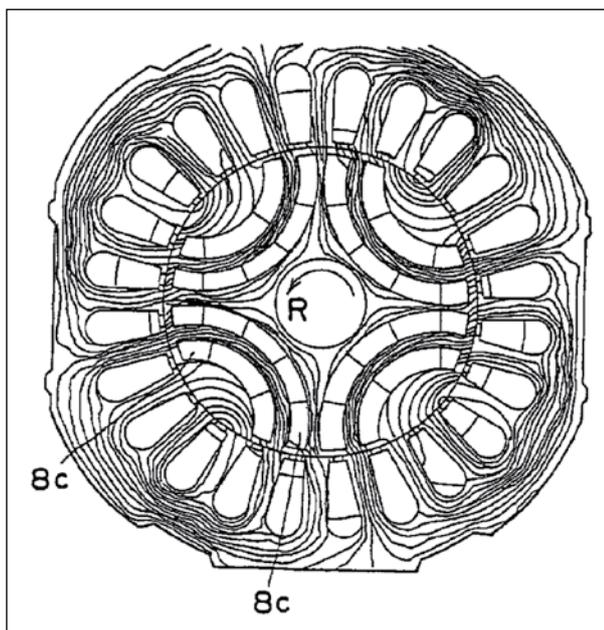
Das Rotor-Reluktanzmoment liefert ein durchaus nützliches Zusatzdrehmoment. Die permanent hilfserregte Reluktanzmaschine (permanent magnet assisted synchronous reluctance motor) ist dafür ein Beispiel. Sie liefert mehr Drehmoment ohne ein Mehr an Permanentmagnetmaterial. Meist wird bogenförmiges Magnetmaterial in einen geblechten Rotor eingelegt oder eingespritzt, siehe Figur 4.

Die folgenden Feldbilder zeigen das komplexe Zusammenwirken der einzelnen Feldanteile einer solchen Maschine. In der Figur 5 ist nur der Permanentmagnetfluss des Rotors gezeigt. Die Figur 6 hingegen zeigt den von Stator erzeugten Fluss, wobei die Permanent-

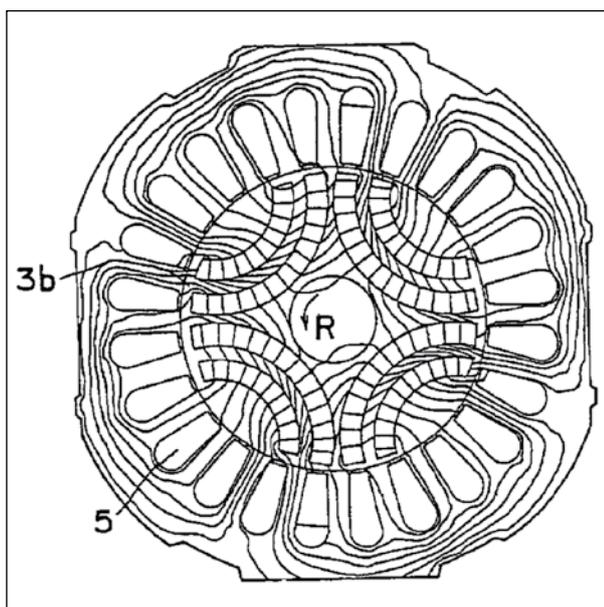


Figur 5: Permanent hilfserregte Reluktanzmaschine, Feldbild nur mit Rotorerregung (aus DE 696 29 419 T2).

magnete entfernt wurden. Die Figur 7 zeigt einen überlagerten Fluss von Stator und Rotor in einem Arbeitspunkt. Man erkennt, dass die Permanentmagnete tendenziell in diesem Betriebsfall eher den Fluss schwächen, mechanisch nötige Blechbrücken magnetisch sättigen und das Feld in eine bestimmte Richtung lenken, als selbst zur Ausbildung eines Pols beizutragen. Daher der Begriff „hilfserrregt“.



Figur 6: Permanent hilfserrregte Reluktanzmaschine, Feldbild nur mit Statorerregung (aus DE 696 29 419 T2)



Figur 7: Permanent hilfserrregte Reluktanzmaschine, Feldbild mit einer Überlagerung der Komponenten (aus DE 696 29 419 T2)

Solche Maschinen sind Beispiele dafür, dass routinemäßige computergestützte Berechnungen (Computer Aided Design, CAD, Finite-Elemente-Methoden, FEM) seit etwa 1990 neue Maschinentypen hervorbringen, die durch eine heuristische Vorgehensweise nicht mehr konstruierbar wären [3], [5], [15]. Denn es können dabei alle interessierenden physikalischen Größen der Maschine berechnet und visualisiert werden, auch gerade solche, die vorher nicht einmal Messungen zugänglich waren, zum Beispiel die magnetische Flussdichte im gesamten Rotor bei verschiedenen Arbeitspunkten.

Insofern haben auch hierbei Fortschritte in der Halbleiter-Technik Veränderungen im Elektromaschinenbau hervorgebracht, indem die Rechengeschwindigkeit und die Speicherausstattung von Rechenanlagen nach dem bekannten Mooreschen „Gesetz“ exponentiell über der Zeit ansteigen. Verfahren, die im Prinzip seit etwa 1900 bekannt sind, werden somit jedem Ingenieur auf preiswerter Hardware mit Standardsoftware und geringer Rechenzeit zugänglich.

Diese Faktoren ermöglichen auch eine Automatisierung bei der Dimensionierung von Maschinen. Im einfachsten Fall können vorgegebene Topologien per mitgelieferter Script- oder Makrosprache geometrisch variiert und gerechnet werden, um ein Optimum zu finden.

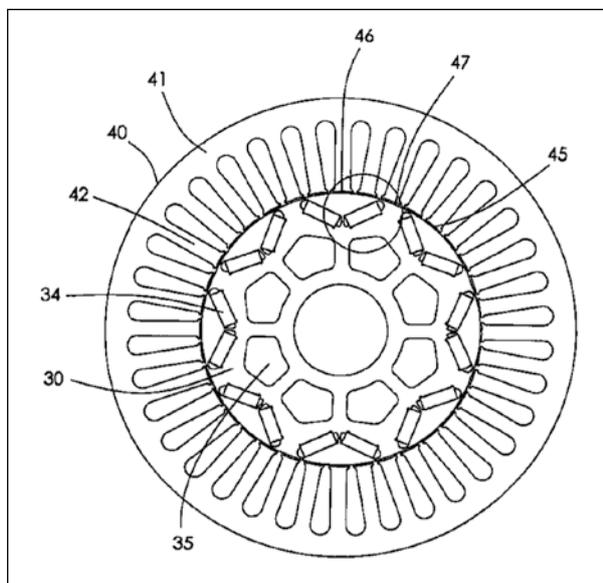
Heuristische Optimierungsverfahren (Genetische-, Evolutionäre- oder Schwarmintelligenz-Algorithmen) rechnen Maschinengeometrien im Minutentakt zu Hunderten oder Tausenden durch [7], [8], [14]. Eine solche Optimierung führt planmäßig zum Erfolg, also auf ein gutes Optimum, wenn nicht sogar auf das absolut Beste. Ein einmaliger oder auch mehrfacher Versuch, der mit höchster Wahrscheinlichkeit doch nur auf ein schlechtes Nebenoptimum führen muss, kann dem gegenüber keine konkurrenzfähige Entwicklungsmethode mehr sein.

## 2.4 Die Drehmomentwelligkeit

Gegenüber dem nützlichen Rotor-Reluktanzmoment führt das Stator-Reluktanzmoment zu einer schädlichen Drehmomentwelligkeit, auch Nutrasten, Polfühligkeit, Nutrucken oder cogging torque genannt. Sie entsteht durch das Streichen der Rotorfelder über die Statorunregelmäßigkeiten. Je nach der Polzahl von Rotor und Stator und deren Geometrie ergeben sich dadurch Drehmomentoberwellen und Oberwellen der im Stator induzierten Spannung, Vibrationen, sirenenartige Geräusche, Nachlaufen und Probleme der elektromagnetischen Verträglichkeit sind die unerwünschten Folgen. Als Gegenmaßnahme vermeidet man abrupt einsetzende Magnetfelder am Rotorumfang. Oft wird eine sinusförmige Magnetfeldverteilung am Rotor angestrebt.

### 2.4.1 Maßnahmen in der Axialebene

Einerseits erfolgt dies durch konstruktive Maßnahmen an den Magneten und am Rotor: magnetische Widerstände in der Nähe der Magnete, Fluss-Sperren, V-förmige oder bogenförmige oder inversbogenförmige Magnete oder Brotlaib-Magnete, Ausnehmungen oder Ausbuchtungen am Rotorumfang. Analytisch wird somit die rechteckförmige Ortsverteilung

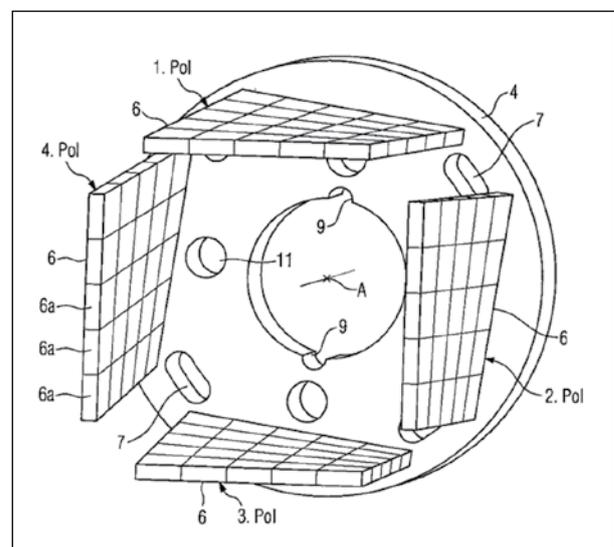


Figur 8: Stator mit Rotor mit genähert sinusförmiger Feldverteilung (aus DE 10 2010 045 777 A1).

der magnetischen Feldstärke durch eine Fensterfunktion multiplikativ geglättet, was nach den Rechenregeln der Fouriertransformation einer Faltung der Spaltfunktion mit der Transformierten der Fensterfunktion im Frequenzbereich entspricht. Dadurch lassen sich die entstehenden Oberwellen bereits weitgehend formen. Diese Maßnahmen sind zunächst in axialer Richtung gleichförmig, siehe Figur 8.

### 2.4.2 Die Feldschrägung

Eine solche Betrachtung im Frequenzbereich lässt erkennen, dass alle Oberwellen der Spaltfunktion mehr oder weniger stark durch eine Tiefpassfunktion gedämpft vorkommen. Eine gezielte Unterdrückung bestimmter Harmonischer ist dagegen durch die Überlagerung verschieden verschobener Felder möglich. Man kennt dies als Polschrägung, auch Polschränkung, Feldschrägung, oder skew, bei der man die Magnetpole des Rotors kontinuierlich, siehe Figur 9, oder abschnittsweise, siehe Figur 10, in axialer Richtung gestaffelt verdreht. Analog dazu ist auch eine Statorschrägung bekannt, siehe Figur 11. Dies führt im Ortsbereich dazu, dass axiale Rotorabschnitte mit ihren Magnetpolen beginnen, Statorunregelmäßigkeiten zu überstreichen, während andere Rotorpole gleichzeitig andere Statorunregelmäßigkeiten verlassen. Es ist aus der geometrischen Anschauung unmittelbar



Figur 9: Teilansicht eines Rotors mit 3D geschrägten Permanentmagneten (aus DE 10 2008 020 778 A1).

zu entnehmen, dass ein günstiger Schrägungswinkel dazu auch von der Anzahl der Rotor- und Statorpole und deren Geometrie abhängen muss, um besagte Kompensation zu erreichen [6]. Das zu der rechnergestützten automatischen Optimierung oben gesagte gilt hierbei entsprechend [11][13].

### 3 Die Rekuperation

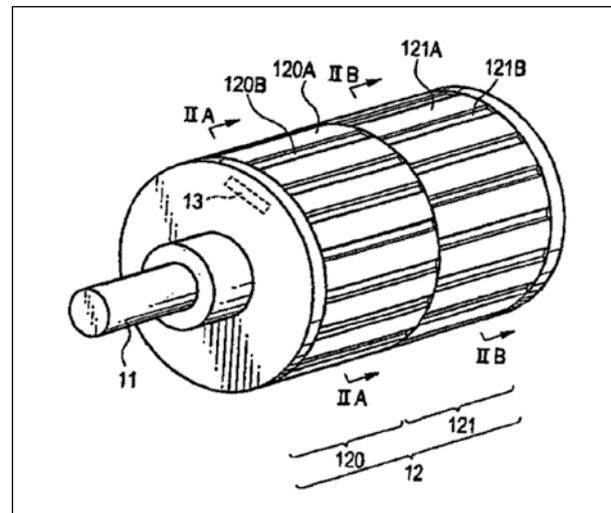
Die beim Bremsvorgang eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs rückgewonnene Energie wird meist einem Gleichspannungszwischenkreis zugeführt. Die kinetische Energie eines Fahrzeugs mit der Masse von 1 Tonne beträgt bei einer Geschwindigkeit von 50 Kilometern pro Stunde etwa 100 Kilojoule. Selbst bei einer sanften, vollständigen Abbremsung mit konstanter Leistung über 10 Sekunden muss daher der Energiespeicher fast 10 Kilowatt aufnehmen können. Elektrochemische Energiespeicher wie Akkumulatoren sind zu solch schnellen Ladevorgängen nicht geeignet, da bei ihnen eine relativ langsame elektrochemische Redox-Reaktion mit merklichem Massentransport auftritt.

#### 3.1 Schwungmassenspeicher

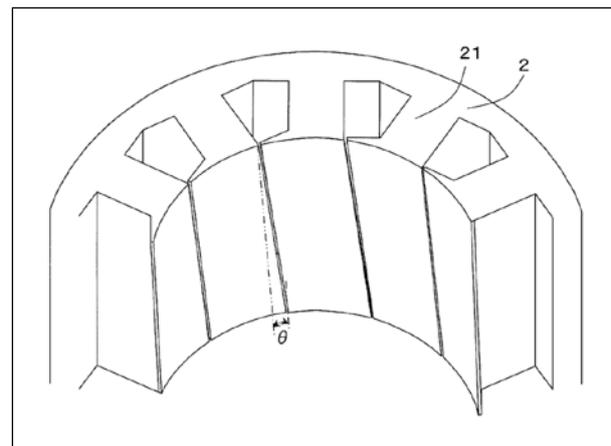
Deswegen kommen andere Energiespeicher zum Einsatz, beispielsweise Schwungmassenspeicher. Diese zeichnen sich sowohl durch hohe Leistungsdichten, vor allem aber durch ihre hohe Energiedichten aus [2].

In der Figur 12 wird ein Hybridfahrzeug mit einem derartigen Konzept dargestellt. Die Hinterachse des Fahrzeugs wird mit einem Verbrennungsmotor angetrieben. Zusätzlich verfügt die Vorderachse über zwei elektrische Antriebsmaschinen (16).

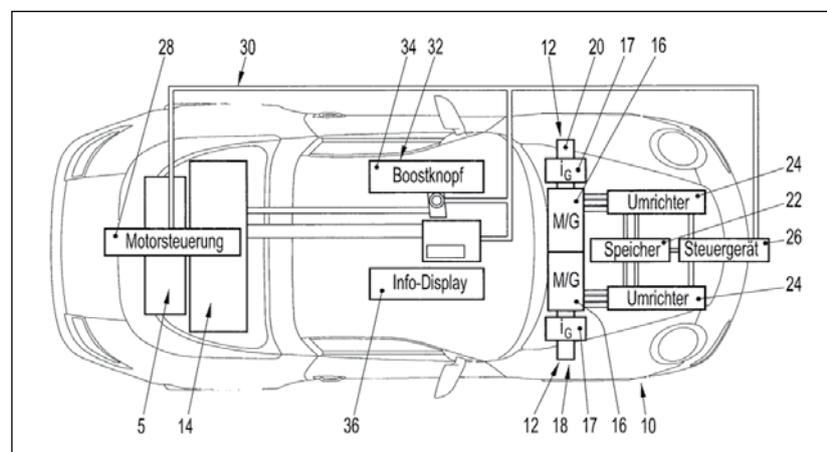
Außerdem weist das Fahrzeug eine weitere Elektromaschine mit Außenrotor auf, welcher als Schwungradspeicher (22) arbeitet. Der Stator dieser Maschine ist fest



Figur 10: Axial abschnittsweise geschrägter Permanentmagnetrotor (aus DE 60 2004 007 460 T2).



Figur 11: Statorschrägung (aus WO 2011/114574 A1).

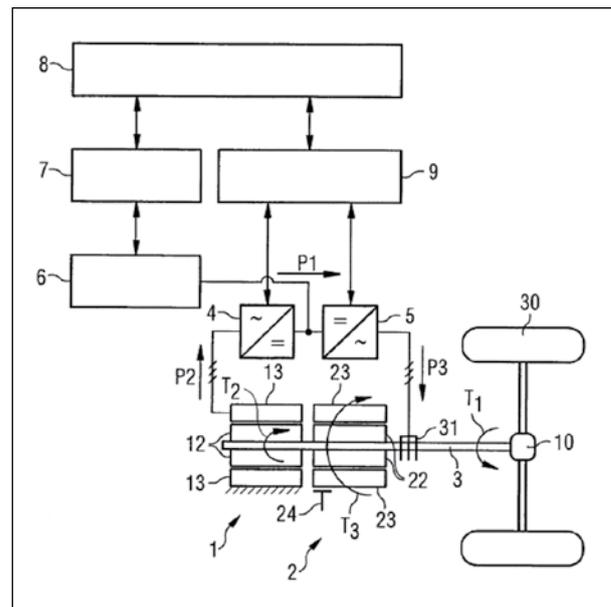


Figur 12: Hybridfahrzeug mit Schwungmassenspeicher (aus DE 10 2010 007 632 A1).

mit dem Gehäuse verbunden und der Rotor ist so gelagert, dass er sich frei um den Stator drehen kann. Mit der beim rekuperativen Bremsen aus den generatorisch betriebenen Antriebsmotoren gewonnenen elektrischen Energie werden die Statorwicklungen bestromt. Durch die Wechselwirkung des im Stator entstehenden Magnetfelds mit dem Dauermagnetfeld des Rotors wird dieser in eine entsprechende Drehbewegung versetzt und somit elektrische Energie in kinetische Energie gewandelt. Soll das Fahrzeug nach dem Abbremsen wieder beschleunigt werden, so wechselt der Schwungradspeicher in den Generatorbetrieb, wodurch der Rotor abgebremst wird. Dabei wird elektrische Energie zurückgewonnen und den beiden Antriebsmotoren an der Vorderachse zugeführt, wodurch die Brennkraftmaschine an der Hinterachse entlastet wird.

Anstatt die beim rekuperativen Bremsen mit den generatorisch betriebenen Antriebsmotoren erzeugte elektrische Energie über Umrichter einer separaten Schwungradeinrichtung zuzuführen, kann ein Antriebsmotor auch selbst als Schwungradspeicher genutzt werden. In der DE 10 2010 033 234 A1 ist ein derartiges System mit zwei elektrischen Maschinen auf einer rotierenden Welle beschrieben, welches sowohl zum Antreiben eines Fahrzeugs als auch zum Speichern überschüssiger Energie geeignet ist.

Das System nach Figur 13 besteht aus zwei auf einer rotierenden Welle angebrachten elektrischen Maschinen. Die erste Maschine besitzt einen festen, außen liegenden Stator (13), während der innen liegende Rotor (12) mit der Welle verbunden ist. Die erste Maschine wird konventionell entweder als Antriebsmotor oder als Generator betrieben. Die zweite elektrische Maschine besitzt einen innen liegenden, auf der rotierenden Welle angebrachten Stator (22), der über Schleifringe (31) bestromt wird und einen außen liegenden und unabhängig drehbaren Schwungrad-Rotor (23). Im Bedarfsfall kann der Rotor (23) der zweiten Maschine auch mit einer Bremse (24) fixiert werden, wodurch dann neben dem Energiespeicherbetrieb auch ein konventioneller Betrieb möglich ist. Mit dieser Vorrichtung kann daher überschüssige kinetische Energie, welche beispielsweise bei einem rekuperativen



Figur 13: Elektrische Maschine mit der Möglichkeit zur kurzfristigen Speicherung überschüssiger kinetischer Energie (aus DE 10 2010 033 234 A1).

Bremsvorgang anfällt, direkt im motorischen Antriebssystem gespeichert werden.

### 3.2 Doppelschichtkondensatoren

Die Nachteile von Schwungradspeichern sind Kreiselmomente, Lagerungsprobleme, aerodynamische Verluste sowie die Notwendigkeit eines Berst- und Splitterschutzes, denn ab etwa 50 000 Umdrehungen pro Minute ist die typische Zugbelastbarkeit selbst hochfester Schwungradmassen erreicht. Elektrische Kondensatoren bringen keine solchen mechanischen Probleme mit sich und erreichen auch die notwendigen Energietransferraten. Jedoch ist für das vorgenannte moderate Abbremsbeispiel und für eine untere und obere Spannung des Kondensators von 200 und 1 000 Volt eine elektrische Kapazität von 0,3 Farad erforderlich.

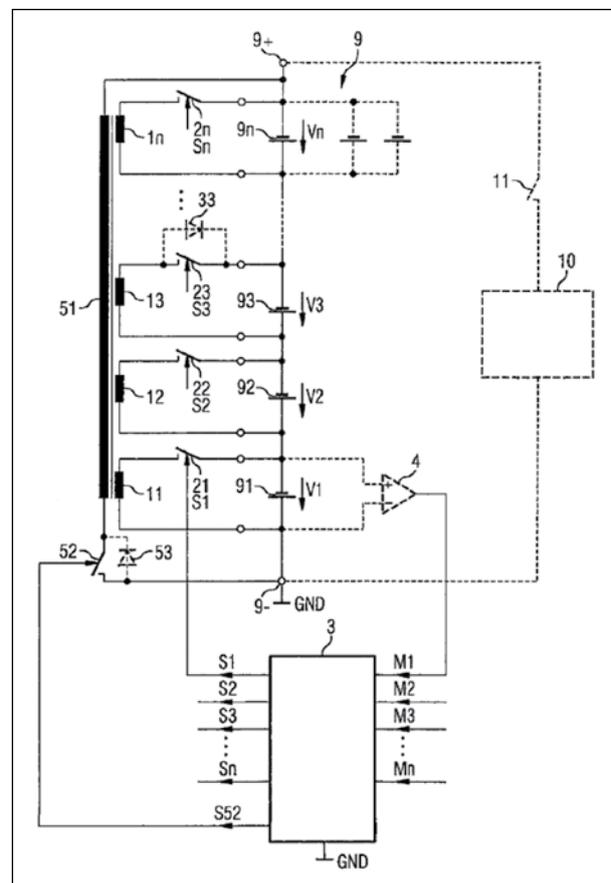
Gewickelte Folienkondensatoren nach dem Prinzip des Plattenkondensators haben jedoch typisch eine Kapazität von 10 Mikروفarad, dies ist mehr als fünf Größenordnungen davon entfernt. Deshalb gibt es schon seit Langem Elektrolytkondensatoren, wobei ein Elektrolyt auf einer gerollten Aluminiumfolie aufgetragen ist. Bei der Formierung bildet sich über eine selbstbegrenzende Redox-Reaktion eine Oxidschicht im Nano-

meterbereich auf der Aluminiumfolie aus, so dass ein Dielektrikum einstellbarer Stärke entsteht. Zur Oberflächenvergrößerung ist die Aluminiumoberfläche chemisch aufgeraut, man geht dadurch schon etwas in Richtung Dreidimensionalität. Typische Baugrößen haben 10 Millifarad bei 100 Volt Maximalspannung. Ein damit aufgebautes Kondensatormodul würde für die obige Anforderung jedoch immer noch etwa 100 000 € kosten, so dass eine weitere Steigerung der Kapazitätsdichte unabdingbar ist. Diese wird mit sogenannten Doppelschichtkondensatoren erreicht. Dabei entsteht an einer schwammförmigen Aktivkohleelektrode eine Isolationsschicht von nur molekularer Schichtdicke. Der Elektrolyt ist echt dreidimensional in der Elektrode gebunden und eine dünne Folie zwischen den Elektroden verhindert nur deren direkte Berührung. Man erhält so eine enorme Oberfläche bei kleinem Volumen und dünnstem Dielektrikum. Teilweise finden dabei doch Redox-Reaktionen statt, so dass je nach Konstruktion ein fließender Übergang zu den elektrochemischen Sekundärelementen besteht. Typische Baugrößen haben eine Kapazität von 1 Farad. Während die Leistungsdichte hoch genug ist, so werden für die Energiedichte immer noch zusätzliche elektrochemische Akkumulatoren benötigt, wenn nicht, wie etwa bei einem Elektro-Linienbus, alle fünf Minuten eine Nachladung erfolgen kann [9].

Der konstruktionsbedingte Preis für die hohe Kapazität dieser Kondensatoren ist eine relativ geringe Maximalspannung von etwa 2,5 Volt. Mit höherer Temperatur und Spannung sinkt die Lebensdauer nach der bekannten Arrhenius-Gleichung exponentiell [12]. Während elektrochemische Sekundärelemente unter normalen Bedingungen ihre Spannung von einigen Volt nur wenig ändern, so ist bei Kondensatoren eine regelmäßige Änderung von 0 Volt bis zur zulässigen Höchstspannung anzusetzen. Die geringe Spannung pro Kondensator macht bei üblichen Gleichstromzwischenkreisspannungen der Wechselrichter von 1 Kilovolt eine massive Serienschaltung von etwa 400 Kondensatoren notwendig. Dabei ist der Strom für alle notwendig gleich, jedoch nicht die Spannung. Die Kapazitätstoleranzen liegen bei typisch 20% und die Alterung führt zu weiteren Unterschieden. Der Ladezustand der einzelnen Kondensatoren und damit auch deren Spannung wird daher verschieden sein. Es kann

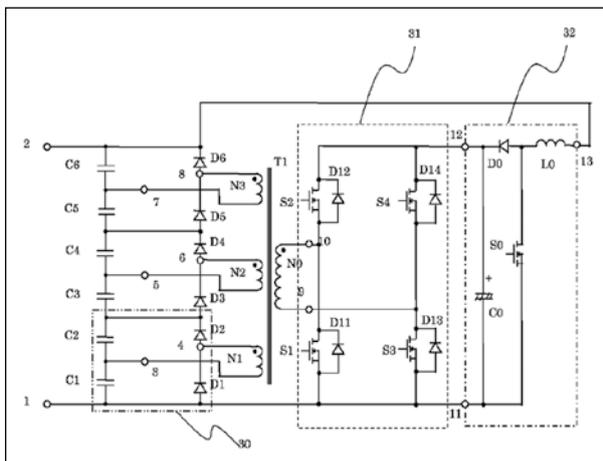
zu Überspannungen und sogar zur lokalen Spannungsumkehr kommen. Während übliche Akkumulatoren eine Überlastung für kurze Zeit tolerieren, so sind Kondensatoren sehr schnell irreversibel geschädigt. Ist nur ein Kondensator defekt, so kann die gesamte Serienschaltung ausfallen. Der Energiespeicher eines solchen Elektroautos wird also zu einem empfindlichen Investitionsobjekt im Bereich von 10 000 €.

Es besteht daher ein dringender Bedarf für Ladungsausgleichs- und Überwachungsschaltungen hinsichtlich der Zellspannung, der Zelltemperatur und der Parameterhistorie, um der Alterung möglichst vorzubeugen und bereits stärker gealterte Kondensatoren zu schonen. Die Steuerung dazu basiert selbstverständlich meist auf Mikroprozessoren. Ältere Vorschläge nutzen Widerstände, die pro Kondensator oder pro Kondensator-Reihenmodul überschüssige Energie verheizen. Dagegen werden heute zumeist induktive Zellausgleichsschaltungen favorisiert. Es sind Schaltungen nach dem Sperrwandlerprinzip (Figur 14) sowie nach dem Flusswandlerprinzip (Figur 15) bekannt.



Figur 14: Ladungsausgleichsschaltung mit Sperrwandler (DE 10 2008 021 090 A1).

Die Gleichspannung der Kondensatoren wird dabei durch elektronische Schalter zerhackt, wodurch ein Wechselfluss in einem Transformator entsteht. Nach dem bereits Gesagten werden die obersten Kondensatoren einer Serienschaltung zu den untersten eine Differenzspannung von durchaus 1 Kilovolt haben. Die induktive Kopplung hat dabei den Vorteil, dass solche Schaltungsteile miteinander Energie austauschen können, ohne dass eine galvanische Verbindung über diese Spannungen hinweg notwendig wäre. Wenn der magnetische Kern des Transformators linienförmig ausgebildet ist, so kann dieser Austausch auch über größere Entfernungen stattfinden, wobei die Zellenverdrahtung lokal auf die zugehörige Spule begrenzt bleibt. Es sind sehr viele Schaltungspermutationen möglich, die prinzipiell alle auch für den Zellausgleich an elektrochemischen Akkumulatoren geeignet sind. Das Generalschema dabei ist, dass Serienschaltungen von Energiespeichern zum Beispiel per Transformator auf andere Serienschaltungen koppeln oder parallel auf nur einen einzigen Zwischenkreis, oder nur auf die nächsten Nachbarn. Umgekehrt ist es auch möglich, dass potenzialmäßig schwimmende Energiespeicher über Transformatoren auf einen einzigen Zwischenkreis koppeln, der auch mit dem Kreis für den Fahrwechselrichter zusammenfallen kann. Dies hat den Vorteil, dass an den Energiespeichern keine hohen Spannungen gegenüber Erde auftreten. Denn es muss bedacht werden, dass in den Kraftfahrzeugwerkstätten bisher bei Kleinspannung hantiert wird, wogegen für Niederspannung bis 1500 Volt weder Ausrüstung noch Erfahrung und Ausbildung vorhanden ist.



Figur 15: Ladungsausgleichsschaltung mit Flusswandler (DE 112006 002 046 T5).

## 4 Die Regelung

### 4.1 Möglichkeiten der Regelung

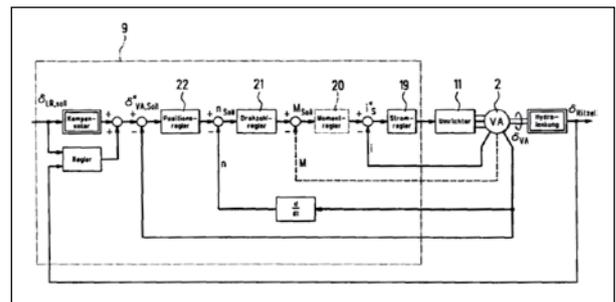
Elektrische Antriebe weisen neben einer großen Überlastfähigkeit bei kurzzeitig stark überhöhtem Drehmoment den Vorteil einer einfachen Regelbarkeit auf. So kann über den Motorstrom das Moment, über das Moment die Drehzahl und über die Drehzahl die Lage des Rotors geregelt werden. Die Verfügbarkeit der hierzu notwendigen Leistungselektronik und der enorme Zuwachs an Leistungsfähigkeit der Mikroelektronik ermöglichen heute hochpräzise Antriebe zu einem günstigen Preis.

### 4.2 Standard-Reglerstrukturen

In der elektrischen Antriebstechnik wird neben der Zustandsregelung eine kaskadierte Regelungsstruktur, bestehend aus mehreren überlagerten Regelkreisen, oftmals verwendet, siehe Figur 16.

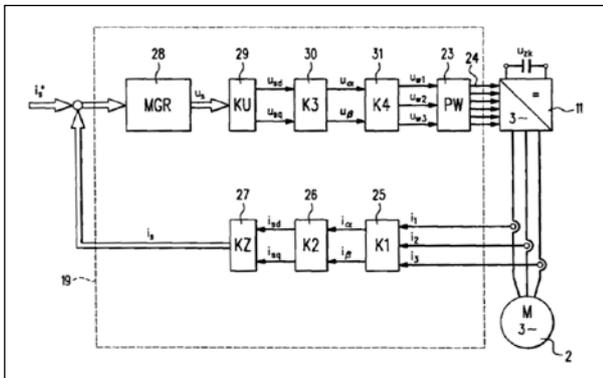
Der innerste Regelkreis (19) stellt dabei die Stromregelung dar. Dem überlagert sind eine eventuelle Momentenregelung (20) sowie eine Drehzahlregelung (21). Darüber liegt eine Lageregelung (22) des Antriebs. Der äußerste Regelkreis ist die Lageregelung der Last, hier im Beispiel der Lenkwinkelregler. Dementsprechend angepasst ist die Sollwertvorgabe. Eine entsprechende Vorsteuerung für die Sollwerte ist ebenso meist vorgesehen. Die Regelung wird digital per Mikrocomputer realisiert.

Der innerste Stromregelkreis ist meist als feldorientierte Regelung ausgeführt. Die DE 44 18 997 C2 sowie

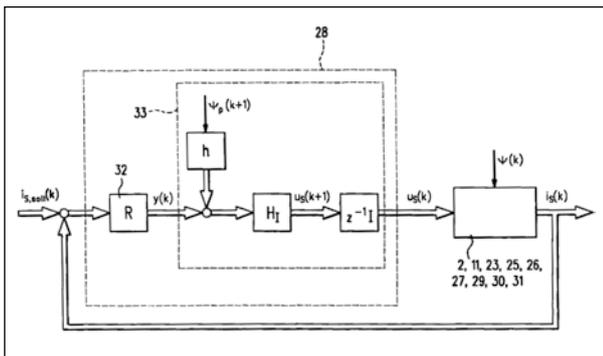


Figur 16: Kaskadenreglerstruktur (aus DE 100 63 895 A1).

DE 100 63 895 A1 (siehe Figur 17, 18) zeigen einen digitalen Zweigrößenreglerentwurf, bei dem aus den gemessenen Phasenströmen ein Strom-Raumzeiger gebildet wird und dieser im rotorfesten System in eine Momenten- und eine Feldkomponente zerlegt wird. Beide Komponenten können unabhängig voneinander geregelt werden und stellen stationäre Größen dar im Bezug auf das rotorfeste Koordinatensystem. Im Reglerentwurf ist eine dynamische Entkopplung der beiden Komponenten vorgesehen. Die Reglerausgänge werden rücktransformiert als Strangspannungsgößen über den Wechselrichter dem Motor zugeführt.



Figur 17, feldorientierte Stromregelung mit Strommessung und Wechselrichter (aus DE 100 63 895 A1).



Figur 18: Stromregler R mit Entkopplungsmatrix H und Störgrößenvektor h (aus DE 100 63 895 A1).

### 4.3 Weitere Patentanmeldungen zur Antriebregelung aus dem Kraftfahrzeug-Bereich

Viele Anmeldungen beinhalten Regelungsverfahren wie beispielsweise die DE 10 2009 000 609 A1, sowie mit Parameteranpassung (DE 103 30 425 A1) oder

Parameterschätzung (DE 103 30 791 A1). Einige Druckschriften beschäftigen sich mit Antriebsüberwachungen (DE 10 2004 052 652 A1). Die DE 103 38 211 A1 zeigt eine Überwachung für einen Rotorgeber, wobei die hiervon bestimmte Rotorlage und Geschwindigkeit anhand der gemessenen Phasenspannungen und Phasenströme nachgebildet werden, so dass bei Ausfall des Sensors ein sicherer Weiterbetrieb des Antriebs gewährleistet ist. Die DE 102 43 217 B4 beinhaltet eine Kompensation einer eventuellen Demagnetisierung der Rotorpermanentmagnete durch Anpassung der Statorbestromung.

Zahlreiche Veröffentlichungen beschäftigen sich mit der Sensorreduktion, insbesondere für Positionssensoren. Hierbei wird angestrebt, den Motor selbst als Sensor für den Fluss und die Rotorposition, Geschwindigkeit sowie Beschleunigung zu verwenden. Beispiele hierfür sind DE 102 14 622 A1, DE 103 07 988 A1, DE 11 2005 000 076 A1 sowie DE 10 2004 055 042 A1. Dies erfolgt meist über Beobachter oder Modelle, eine Rekonstruktion der Elektromotorischen Kraft oder eine Auswertung des Sättigungsverhaltens, verursacht durch die Statorbestromung oder Testsignale. Die Auswertung erfolgt mittels Schätzverfahren, Beobachtern oder Referenzmodellen.

Manche Anmeldungen beinhalten die Optimierung des Wirkungsgrads (DE 10 2006 027 713 A1), des Temperaturverhaltens (DE 101 06 944 B4), sowie Lärmminimierung des Antriebs mittels optimierter Ansteuerung und die Reduzierung von Momentenrippeln (DE 10 2004 003 418 A1).

Ein weiteres Thema ist der Betrieb des Motors an der Spannungs- beziehungsweise Stromgrenze entsprechend der DE 10 2007 036 028 A1, DE 10 2007 048 374 A1 sowie DE 10 2004 042 403 A1.

Andere Druckschriften beschäftigen sich mit Kommutierungsverfahren, Wechselrichtern einschließlich Gleichstrom-Wandlern im Zwischenkreis, Energierückgewinnung, Optimierung der Ansteuerung, sowie betriebsbedingten Umschaltungen und Auswahl von unterschiedlichen Verfahren zu Reglern, Eingangs- und Messgrößenermittlung, Kommutierung und Pulsweitenmodulation oder Wechselrichteransteuerung.

**4.4 Beispiele für den Einsatz elektrischer Antriebe im Kraftfahrzeug-Bereich**

Anwendungen für elektrische Maschinen sind Fahr- antriebe für Elektro- und Hybridfahrzeuge, Lenkan- triebe, Antriebe für Hilfsaggregate wie Kühlmittel- pumpen (DE 199 42 493 A1), Ölpumpen DE 10 2010 041 944 A1, Hydraulikpumpen, Kraftstoffpumpen (DE 10 2007 057 746 A1), Antriebe für Bremsen, Turbolader (DE 103 46 555 A1), sowie Sitzverstellantriebe, oder Dachsysteme (DE 100 51 638 A1).

**4.5 Möglichkeiten zur Erweiterung des Betriebs- bereichs einer Synchronmaschine**

Permanentmagnet-Maschinen können im Gegensatz zu solchen mit elektrischer Erregung, nicht ohne Weiteres entregt werden. Nach dem Induktionsgesetz steigt die Spannung im Stator proportional mit der Umdrehungszahl an. Dies kann für die Leistungs- halbleiter im Wechselrichter der Maschine problemati- sch werden. Bei einem Wicklungsschluss im Stator wirkt ein solcher Rotor als nichtabschaltbare Bremse. Schließlich sind auch bestimmte Betriebsbereiche mit hohen Drehzahlen ohne Feldschwächung im Rotor nicht zu erreichen, da der Wechselrichter die Span- nung nicht beliebig erhöhen kann.

**4.5.1 Das Vektordiagramm für die auftretenden Spannungen**

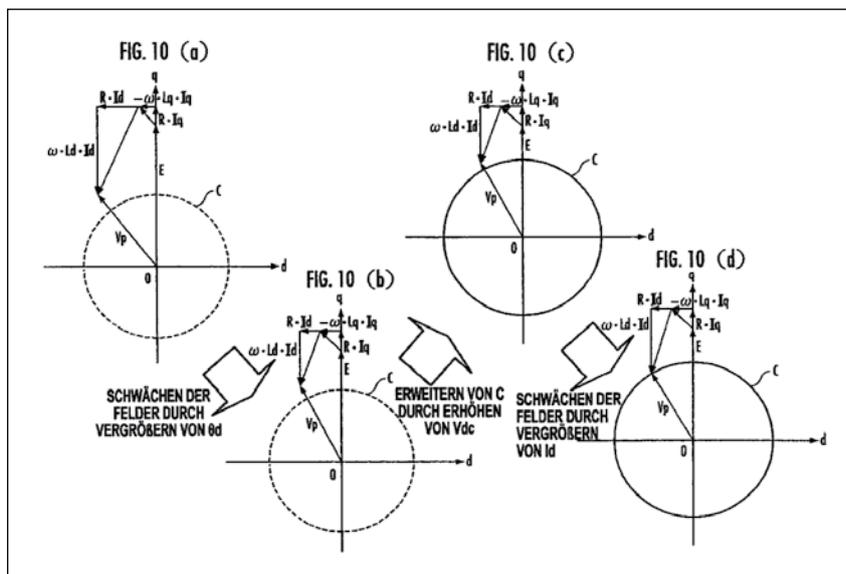
Ein Antrieb ist über seine Dimensionierung auf ei- nen Nennbetriebspunkt ausgelegt, welcher durch Nennmoment bei Nennstrom und Nenndrehzahl bei Nennspannung definiert ist.

In der Figur 19 ist für einen Antrieb der Motorspan- nungsvektor ( $V_p$ ) abgebildet, welcher als Summe aus der Elektromotorischen Kraft und dem Spannungs- abfall am ohmschen Widerstand und an der Motorin- duktivität gebildet wird. Wenn ( $V_p$ ) den Spannungs- begrenzungskreis C schneidet, ist die Maximalge- schwindigkeit erreicht. Der in Figur 19 (a) geforderte Spannungsvektor ( $V_p$ ) lässt sich somit nicht mehr einprägen, weil er außerhalb dieses Kreises liegt.

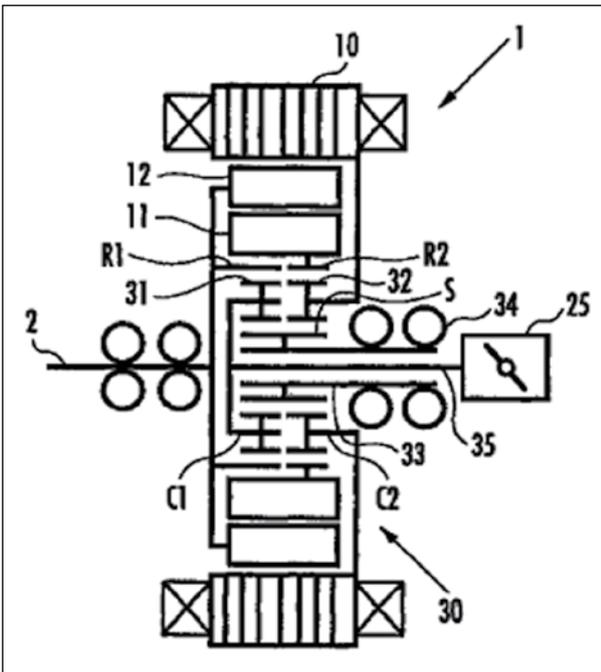
Eine Erhöhung der Zwischenkreisspannung gemäß Figur 19 (c) ermöglicht somit eine Erhöhung der Dreh- zahl, weil der Spannungsbegrenzungskreis (C) ver- größert wird.

Des Weiteren ist aus der Figur 19 (d) ersichtlich, dass durch Einprägen eines negativen Feldstromes, der Drehzahlbereich des Motors bei reduzierter Momen- tenabgabe erweitert werden kann, indem der Span- nungsvektor ( $V_p$ ) reduziert wird. Dieser Feldschwäch- betrieb, soweit er nicht durch

die Motorreluktanz bedingt ist, hat allerdings den Nachteil, dass sich wegen der Statorstromkom- ponente in Rotorflussrichtung der Wirkungsgrad des Motors verschlechtert. Dies ist gerade bei Elektrofahrzeugen wegen der beschränkten Batteriekapa- zität von erheblichem Nachteil.



Figur 19: Maßnahmen zur Erweiterung des Antriebsbetriebsbereichs aus der DE 10 2007 025 210 B4.



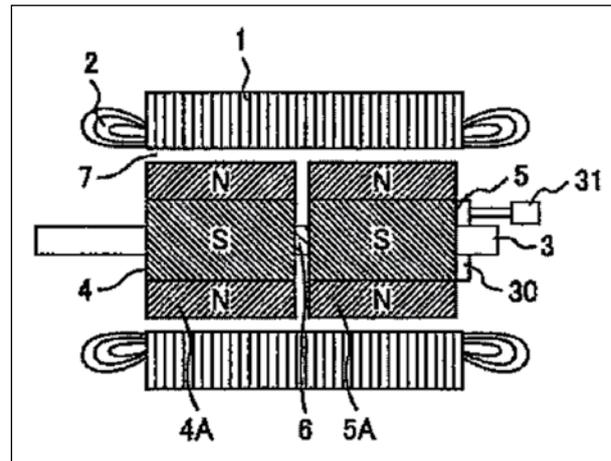
Figur 20: Doppelrotormotoraufbau aus der DE 10 2007 013 577 B4.

**4.5.2 Betrieb durch mechanische Feldschwächung oder mechanische Entregung**

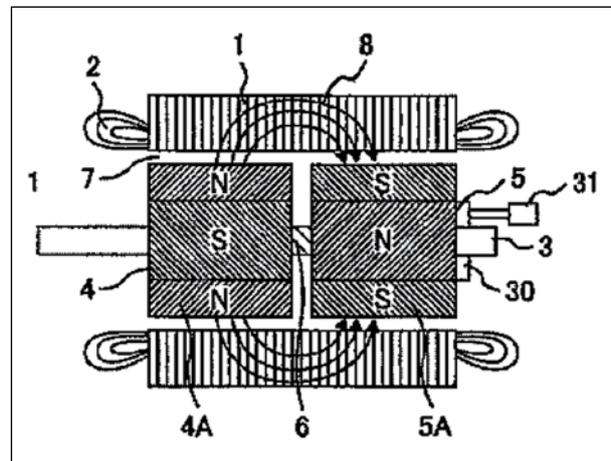
Deshalb gibt es verschiedene Lösungsansätze, welche die Magnetisierung des Motors gemäß Figur 19 (b) direkt ändern können, um diesen Nachteil zu vermeiden. Es soll direkt die Drehmomentkonstante und damit die Elektromotorische Kraft (E) des Motors verändert werden.

Das Konzept nach Figur 20 schlägt hierzu eine Doppelrotorkonstruktion vor, bei der zwei Rotoren konzentrisch um die Rotorachse angeordnet sind und mittels eines Planetengetriebes während des Betriebes zueinander verdreht werden können, um auf diese Weise eine Feldanpassung oder mechanische Entregung realisieren zu können.

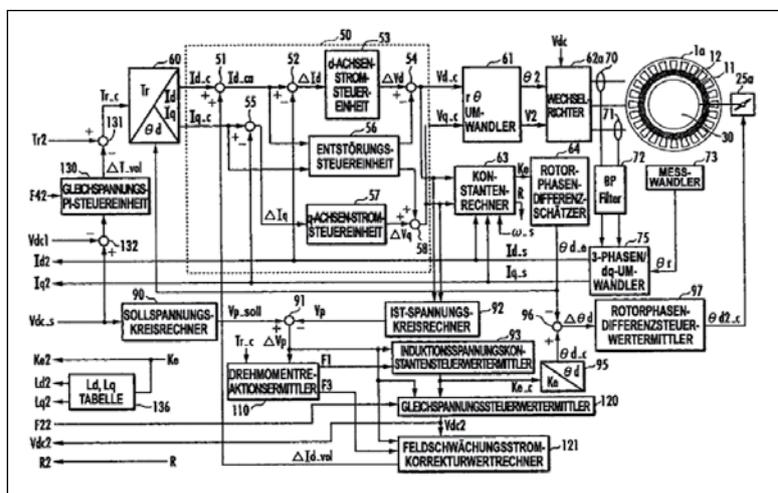
Die beiden Rotoren sind mit den Bezugsziffern (11) und (12) gekennzeichnet. Der Stator hat das Bezugszeichen (10). Die Verdrehung der beiden Roto-



Figur 21: Rotor mit mechanischer Entregung, Normalstellung (aus DE 10 2010 002 401 A1).



Figur 22: Rotor mit mechanischer Entregung, Kompensation (aus DE 10 2010 002 401 A1).



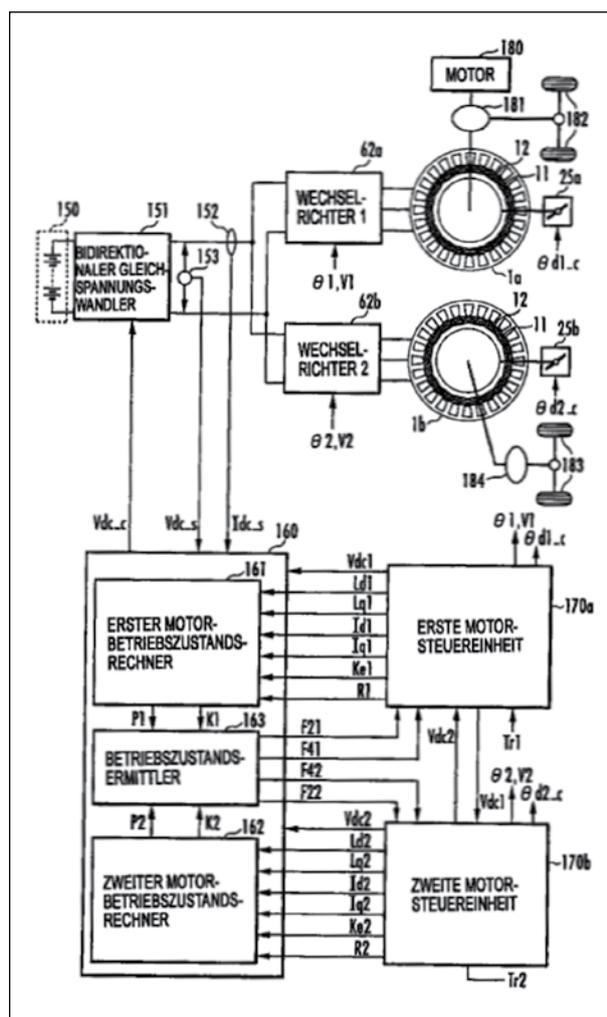
Figur 23: Ansteuerung des Doppelrotormotorverstellmechanismus aus der DE 10 2007 025 210 B4.

ren zur Anpassung des Gesamt-Rotorfeldes an den Betriebszustand erfolgt über den Verstellmechanismus mit Bezugszeichen (25). Die entsprechenden Ansteuerungen des Antriebs sind in den Patentschriften DE 10 2007 013 577 B4 und DE 10 2007 025 210 B4 dargelegt.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Verdrehung von axialen Rotorabschnitten per Stellmotor gegeneinander, wie sie die Figuren 21 und 22 zeigen.

Diese Maßnahmen sind sowohl für motorischen als auch für generatorischen Betrieb anwendbar.

Die Figur 23 zeigt die Ansteuerung des Doppelrotorverstellmechanismus nach Figur 20 abhängig von der Zwischenkreisspannung, der geforderten Motorleistung sowie der Drehzahl in Bezug auf die Figur 19.



Figur 24: Gesamte Motoransteuerung für beide Achsen aus DE 10 2007 025 210 B4.

Die Eingangsgrößen sind das geforderte Motormoment ( $T_{r2}$ ) sowie die aus der Batteriespannung generierte Zwischenkreisspannung ( $V_{dc\_s}$ ). Die Stromregler (50, 57) mit Entkopplungseinheit (56) sowie die zugehörigen Koordinatentransformationseinheiten (61, 75) berechnen die Motorspannungen für den Wechselrichter. Aus dem Vergleich (91) der berechneten Sollspannung aus der Stromregelung mit der Zwischenkreisspannung wird die einzustellende Motordrehmomentkonstante (93) abgeleitet und daraus der Verstellwinkel ( $\theta$ ) für das Planetengetriebe sowie eine zusätzliche Feldschwächung ( $\Delta I_{d\_vol}$ ) zur Leistungsoptimierung festgelegt.

Die Figur 24 zeigt eine leistungsoptimierte Ansteuerung zweier solcher Antriebe in einem Elektrofahrzeug, jeweils für die Vorder- und Hinterachse in Bezug auf die Figur 19 und die Figur 23.

In den ersten und zweiten Motorsteuerungen werden jeweils die Berechnungen aus der Figur 23 durchgeführt.

Die DE 10 2006 006 824 A1 beinhaltet einen anderen Vorschlag zu Erweiterung des Motordrehzahlbereichs durch Verwendung sogenannter Memory-Motoren. Hierbei wird in einem speziellen Betriebspunkt über die Bestromung des Stators die permanente Magnetisierung des Rotors nach Bedarf geändert und die Motorsteuerung entsprechend adaptiert. Eine weitere Variante schlägt die DE 10 2007 028 635 A1 vor, in der zwei axial benachbarte Statoren, die auf einen gemeinsamen Rotor einwirken, gegeneinander verdreht werden.

### 5 Ausblick

Vor allem bei reinen Elektrofahrzeugen unterscheiden sich die technischen Fragestellungen zum Teil erheblich von denen bei konventionellen Antrieben. Dies wird den Trend zur Elektronik auf Kosten der Mechanik verstärken. Wenn sich die Entwicklung relativ langsam über die bekannten Hybridfahrzeuge vollzieht, so kann von einem kontinuierlichen Übergang in der Konzeption, der Herstellung und der Wartung

solcher Fahrzeuge ausgegangen werden. Sollten sich jedoch reine Elektrofahrzeuge schneller am Markt durchsetzen, so werden tiefgreifende Änderungen der Produktionsstrukturen und auch der Berufsbilder die Folge sein.

#### Nicht-Patent-Literatur

- [1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: World Energy Outlook 2010. OECD/IEA, 2010
- [2] HUSAIN, I.: Electric and Hybrid Vehicles. CRC Press, 2003, ISBN 0-8493-1466-6
- [3] HENDERSHOT, J., MILLER, T.: Design of Brushless Permanent Magnet Motors, 1994, Oxford: Magna Physics Publishing and Clarendon Press, ISBN 1-881855-03-1
- [4] HANSELMAN, D.: Brushless Permanent-Magnet Motor Design, 1994, New-York: McGraw-Hill, ISBN 0-07-026025-7
- [5] BARCARO, M., BIANCHI, N., MAGNUSSEN, F.: Permanent-Magnet Optimization in Permanent-Magnet-Assisted Synchronous Reluctance Motor for a Wide Constant-Power Speed Range, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012, Volume 59, Issue: 6, S. 2495 – 2502, ISSN: 0278-0046
- [6] HANSELMAN, D.: Effect of skew, pole count and slot count on brushless motor radial force, cogging torque and back EMF, IEE Proc. Electr. Power Appl., 1997, Vol 144, No. 5, S. 325-330
- [7] BOCHNIA, D.: Optimierung hochpoliger Dauermagnetmotoren unter Verwendung der Finiten Elemente Methode und der Evolutionsstrategie, 2001, Dissertation, TU Chemnitz
- [8] CASSIMERE, B., SUDHOFF, S.: Population-Based Design of Surface-Mounted Permanent-Magnet Synchronous Machines, 2009, IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume: 24, Issue:2, S. 338 – 346, ISSN: 0885-8969
- [9] ZHU, C., LU, R., TIAN, L., WANG, Q.: The Development of an Electric Bus with Super-Capacitors as Unique Energy Storage, Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 06, IEEE, 2006, S. 1-5
- [10] JAHNS, T., SOONG, W.: Pulsating Torque Minimization Techniques for Permanent Magnet AC Motor Drives - A Review, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 43, No. 2, APRIL 1996, S. 321-330
- [11] HO, S., CHEN, N., FU, W.: An Optimal Design Method for the Minimization of Cogging Torques of a Permanent Magnet Motor Using FEM and Genetic Algorithm, IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol. 20, No. 3, JUNE 2010, S. 861 – 864
- [12] LINZEN, D., BULLER, S., KARDEN, E., DE DONCKER, R.: Analysis and evaluation of charge-balancing circuits on performance, reliability, and lifetime of supercapacitor systems, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume 41, Issue 5, Sept.-Oct. 2005, S. 1135-1141
- [13] SURONG, H., AYDIN, M., LIPO, T.: Torque quality assessment and sizing optimization for surface mounted permanent magnet machines, Conference Record of the 2001 IEEE Industry Applications Conference, 2001, Volume: 3, S. 1603 – 1610
- [14] RECHENBERG, I.: Evolutionistische Bionik auf dem mathematischen Prüfstand, Vorlesung Bionik I im Winter 2000/2001, TU Berlin, S. 1-10
- [15] ASCHENDORF, „Erst berechnen, dann bauen“, Zeitschrift Konstruktionspraxis, S. 16 ff, 7. Jahrgang, Nr. 6, 1996

# Spannungstabilisierung in Kraftfahrzeug-Bordnetzen

Dipl.-Ing. Jürgen Brix, Patentabteilung 1.34

Im Betrieb eines Kraftfahrzeug-Bordnetzes können durch Schalthandlungen Über- und Unterspannungen entstehen. Angeschlossene, spannungssensible elektrische Einrichtungen wie etwa Radio, Steuergeräte und Scheinwerfer können dadurch in ihrem Betrieb gestört sowie in ihrer Funktionsfähigkeit geschädigt werden. Der Artikel beschäftigt sich mit grundlegenden Lösungsansätzen in der Patendliteratur zur Spannungstabilisierung in Kraftfahrzeug-Bordnetzen.

## 1 Kraftfahrzeug-Bordnetze

Ein Kraftfahrzeug-Bordnetz umfasst als grundlegende Bestandteile üblicherweise einen Generator, eine Fahrzeugbatterie und elektrische Verbraucher. Bei laufendem Verbrennungsmotor stellt der angekoppelte Generator eine elektrische Spannung bereit, womit die Fahrzeugbatterie geladen und die elektrischen Verbraucher versorgt werden. Dabei kann die von dem Generator abgegebene Leistung durch eine Regelung an den jeweils momentanen Bedarf der elektrischen Verbraucher angepasst werden.

Um eine verbesserte Funktionalität bei gleichzeitig geringerem Kraftstoffverbrauch zu erreichen, werden heutzutage vermehrt elektrische Verbraucher angewendet, die als Ersatz für mechanische oder hydraulische Systeme dienen. Im Wesentlichen kommen hier Elektromotoren für Lenk-, Park- und/oder Bremssysteme zum Einsatz. Beispielhaft sei hier die Anwendung von Elektromotoren für das „Elektronische Stabilitätsprogramm ESP“ genannt. Die Stromaufnahme derartiger elektrischer Verbraucher erfolgt dabei nicht permanent, sondern ist temporär beschränkt, da sie nur nach Bedarf aktiviert werden müssen. Gleichzeitig belasten diese neuartigen Verbraucher das Bordnetz mit hohen pulsformigen Strömen. Daraus resultieren Bordnetzinstabilitäten, die auch durch den verstärkten Einsatz von Start-/Stopp-Systemen von Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen noch forciert werden, da auch der häufig aktivierte Startermotor als kurzzeitige große Bordnetzlast das Spannungsniveau belastet.

Heutige Generatoren agieren allerdings zu träge, um diese pulsformigen Ströme bereitzustellen oder die Spannung schnell anpassen zu können. Die Bordnetzspannung wird in diesen Fällen hauptsächlich durch die Fahrzeugbatterie stabilisiert. Dabei bestimmt der Innenwiderstand der Bordnetz batterie die Stabilität der Bordnetzspannung. In der Folge kann bei hohen pulsformigen Strömen die Bordnetzspannung sogar um einige Volt einbrechen, so dass es zu Einschränkungen der Funktion des Bordnetzes kommt.

## 2 Lösungswege zur Spannungstabilisierung

### 2.1 Parallelschaltung eines Energiespeichers mittels Gleichspannungswandler

Nach der Offenlegungsschrift DE 198 59 036 A1, vergleiche Figur 1, weist ein Bordnetz 10 eines Kraftfahrzeugs einen Generator G, eine als Platzhalter für verschiedene Verbraucher stehende Last L und eine Bordnetz batterie B auf. Parallel dazu ist das Bordnetz um eine Reihenschaltung aus Gleichspannungswandler W, im Weiteren als DC/DC-Wandler abgekürzt, und Doppelschichtkondensator K ergänzt, der mit höherer spezifischer Kapazität auch als Superkondensator oder Ultrakondensator ausgebildet sein kann. Durch den DC/DC-Wandler W als bidirektionalen, variablen Wandler können beide Ausgangsspannungen U1, U2 variabel geregelt werden. Mit einer geeigneten Wahl der Ausgangsspannungen U1, U2 lässt sich steuern, ob der Doppelschichtkondensator K geladen oder entla-

den wird. Die Steuerung des Wandlers  $W$  übernimmt hierfür das Steuergerät  $S$ .

Im Steuergerät  $S$  erfolgt eine Unterscheidung zwischen Schub- und Zugbetrieb der Brennkraftmaschine. Befindet sich das Kraftfahrzeug im Schubbetrieb, so wird der DC/DC-Wandler  $W$  derart angesteuert, dass der Doppelschichtkondensator  $K$  geladen wird. Die im Doppelschichtkondensator  $K$  gespeicherte elektrische Energie kann unabhängig vom Ladezustand des Doppelschichtkondensators  $K$  durch entsprechende Steuerung der am Ausgang  $A1$  anliegenden Spannung  $U1$  abgegeben werden. Insbesondere in Phasen, in denen der Generator  $G$  kombiniert mit der Batterie  $B$  nicht die gesamte Energieversorgung des Bordnetzes bereitstellen kann, beispielsweise bei hohen pulsformigen Stromlasten, wird der DC/DC-Wandler  $W$  so vom Steuergerät  $S$  angesteuert, dass der Doppelschichtkondensator  $K$  entladen wird. Dadurch

können Spannungseinbrüche verhindert und die Bordnetzspannung stabilisiert werden. Als Nebeneffekt wird auch eine Belastung der Bordnetzbatterie  $B$  reduziert und deren Lebensdauer verlängert.

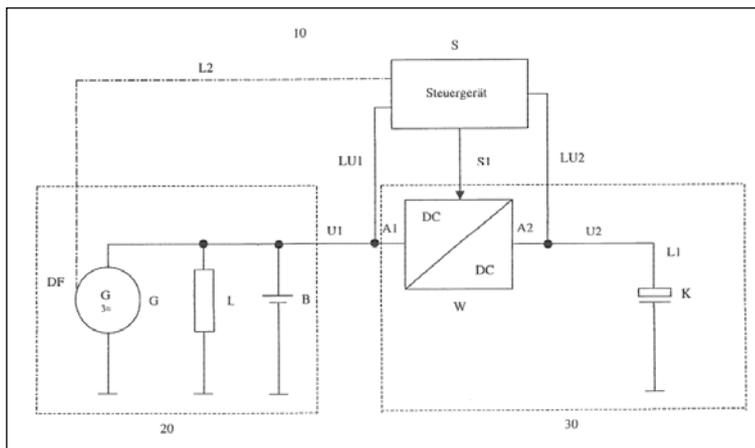
Da ein Doppelschichtkondensator  $K$  die Energie nur für einen relativ kurzen Zeitraum (Tage) speichern kann, ist darüber hinaus das Entladen des Doppelschichtkondensators  $K$  in die Batterie  $B$  immer dann sinnvoll, wenn das Fahrzeug nach einem Motorstopp abgestellt wird.

## 2.2 Parallelanbindung eines Energiespeichers mittels Trennschalter

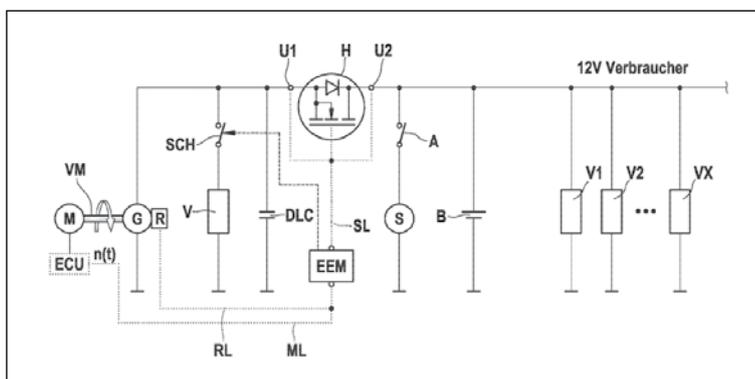
Einen alternativen Weg ohne aufwendigen DC/DC-Wandler schlägt die Offenlegungsschrift EP 17 24 158 A2 vor, vergleiche Figur 2. Ein Generator  $G$  stellt

demnach die elektrische Energie für das gesamte Bordnetz bereit. Direkt an den Generator  $G$  angeschlossen sind ein Doppelschichtkondensator  $DLC$  sowie ein oder mehrere Hochlastverbraucher  $V$ , die elektrische Leistung schnell, das heißt innerhalb weniger Millisekunden und nur kurzzeitig benötigen.

Vom restlichen Bordnetz sind die Bordnetzbatterie  $B$  sowie der Starter  $S$  dargestellt, der über den Anlassschalter  $A$  einschaltbar ist. Parallel zur Bordnetzbatterie  $B$  sind Verbraucher  $V1$  bis  $VX$  geschaltet.



Figur 1: Bordnetz nach der DE 198 59 036 A1.



Figur 2: Bordnetz nach der EP 17 24 158 A2.

Die in Figur 2 dargestellte Bordnetztopologie ermöglicht es, ein Inselbordnetz, bestehend aus den Kurzzeit-Hochlastverbrauchern  $V$ , einem Doppelschichtkondensator  $DLC$  und dem Generator  $G$  zu bilden. Dieses Inselbordnetz kann mit dem Schalter  $H$  unter bestimmten Bedingungen von der Batterie  $B$  und

dem Starter S getrennt oder mit diesen in Verbindung gebracht werden, je nachdem wie die Spannungsversorgungslage im Einzelnen ist.

Wenn durch Kurzzeit-Hochlastverbraucher V keine Energie benötigt wird, kann die Spannung  $U_1$  des Doppelschichtkondensators DLC auf dem Niveau der Generatorausgangsspannung gehalten und über den geschlossenen Schalter H die Batterie B geladen beziehungsweise das restliche Bordnetz mit den Verbrauchern V1 bis VX mit Energie versorgt werden.

Bei Zuschaltung des Kurzzeit-Hochlastverbrauchers V sinkt die Kondensatorspannung  $U_1$  und der Schalter H trennt die Batterie B mit dem restlichen Bordnetz vom Inselbordnetz. Die Ansteuerung des Schalters H erfolgt dabei von einem elektrischen Energiemanagement EEM. Die Bordnetzbatterie B wird nicht von dem pulsformigen Strombedarf des Hochlastverbrauchers V belastet und kann die kontinuierliche Spannungsversorgung der weiteren Verbraucher V1 bis VX gewährleisten. Dabei tritt in dem restlichen Bordnetz kein Spannungseinbruch auf.

Gleichzeitig reagiert der Regler R auf die sinkende Spannung  $U_1$  und regelt den Generator G entsprechend hoch, beispielsweise durch Erhöhung des Erregerstroms, das heißt der Generator wird so geregelt, dass seine Ausgangsspannung erhöht wird. Üblicherweise beträgt diese Anregeldauer des Generators G mehrere

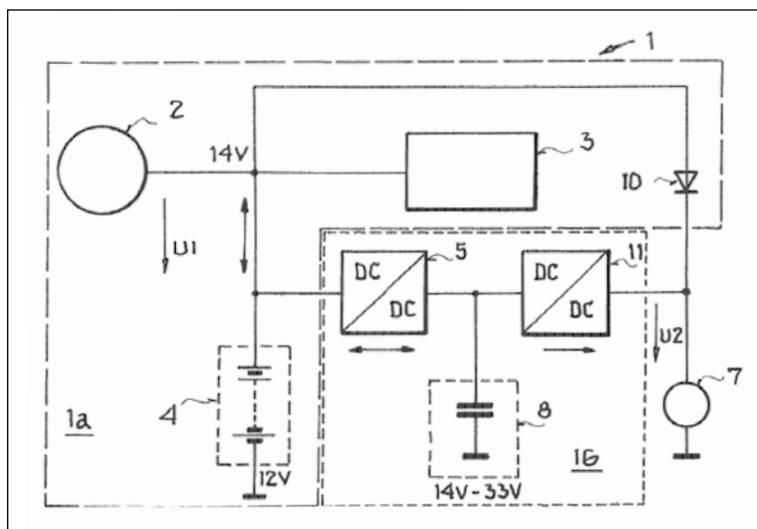
hundert Millisekunden. Zumindest in dieser Zeit muss der Doppelschichtkondensator DLC die vom Hochlastverbraucher V benötigte Energie bereitstellen können, ohne dass die Spannung  $U_1$  auf unzulässige Werte sinkt.

### 2.3 Parallelanbindung eines Energiespeichers mittels zweier Gleichspannungswandler

Sollen von einem Bordnetz Verbraucher mit elektrischer Energie versorgt werden, deren Funktionen für die Sicherheit der Fahrzeuginsassen relevant sind, so ist für sie eine redundante Versorgung aus zumindest zwei Energiequellen notwendig. Dabei muss gewährleistet sein, dass diese Verbraucher bei Ausfall einer Energiequelle mit Energie aus der jeweils anderen Energiequelle versorgt werden können.

Für derartige Anwendungsfälle schlägt die Offenlegungsschrift DE 10 2006 10 713 A1 eine redundante Spannungsversorgung mit Unterspannungsschutz vor, vergleiche Figur 3. Bei dem sicherheitsrelevanten Verbraucher 7 kann es sich beispielsweise um Hochleistungsverbraucher eines elektromechanischen Bremssystems des Fahrzeugs, insbesondere eines Shift-by-Wire-Systems, handeln. Dieser Verbraucher 7 ist in ein Bordnetz 1 eingebunden, das zur Erzeugung einer Ausgangsspannung einen Generator 2 aufweist. Das Bordnetz umfasst hier ein Primärsystem 1a mit einer Batterie 4 und ein Sekundärsystem 1b mit einem zusätzlichen Energiespeicher 8, der vorzugsweise als Doppelschichtkondensator ausgebildet ist. Das Sekundärsystem 1b umfasst ferner einen bidirektionalen DC/DC-Wandler 5 sowie einen unidirektionalen DC/DC-Wandler 11.

Zur Energieversorgung des Verbrauchers 7 sind das Primärsystem 1a und das Sekundärsystem 1b voneinander entkoppelt, indem eine Diode 10 des Primärsystems 1a und der zweite DC/DC-



Figur 3: Bordnetz nach der DE 10 2006 010 713 A1.

Wandler 11 des Sekundärsystems 1b entsprechend in das Bordnetz 1 geschaltet sind.

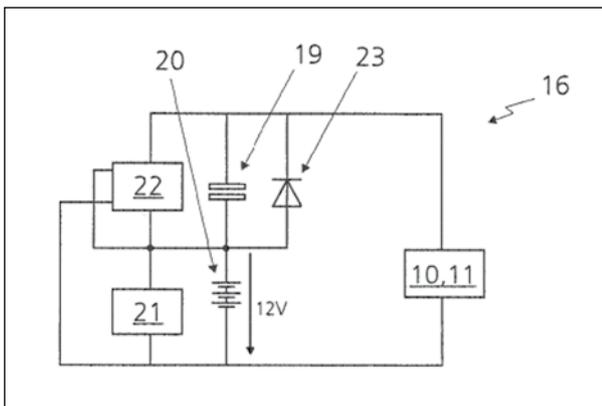
Die Batterie 4 sowie der Doppelschichtkondensator 8 werden von dem Generator 2 geladen, wobei auch Rekuperationsenergie aus Schub- oder Bremsphasen des Fahrzeugs 1 genutzt werden kann.

Im Betrieb kann der Hochleistungsverbraucher 7 bedarfsgerecht über den DC/DC-Wandler 11 aus dem Doppelschichtkondensator 8 gespeist werden. Für die redundante Versorgung des Verbrauchers 7 steht zudem die Fahrzeugbatterie 4 über die Diode 10 zur Verfügung. Dadurch kann Spannungseinbrüchen im Bordnetz 1 auch bei pulsartigen Belastungen entgegen getreten werden.

Der zusätzliche Energiespeicher 8 ist hier doppelfunktional nutzbar, das heißt es kann darin durch den Generator 2 bereitgestellte Energie aus Rekuperationsvorgängen gespeichert und zur redundanten Versorgung eines sicherheitsrelevanten Hochleistungsverbrauchers 7 verwendet werden. Alternativ kann zudem auch die gespeicherte Energie des Doppelschichtkondensators 8 nach Bedarf an das Primärsystem 1a über den DC/DC-Wandler 5 abgegeben werden.

#### 2.4 Reihenschaltung eines Energiespeichers zur Fahrzeugbatterie

An Stelle der bisher erläuterten Parallelanordnungen von Energiespeichern können Spannungseinbrüche



Figur 4: Schaltungssystem nach der DE 10 2005 042 154 A1.

in Bordnetzen auch durch gezielte Spannungsanhebungen verhindert werden. Die Offenlegungsschrift DE 10 2005 042 154 A1 liefert hierzu ein Schaltungssystem, vergleiche Figur 4, in dem elektrische Hochleistungsverbraucher 10, 11 mit der Summe der beiden Spannungen aus Bordnetz, das heißt aus der durch einen Generator 21 gespeisten Fahrzeugbatterie 20, und zusätzlichem Energiespeicher 19 versorgt werden.

Hierzu ist der zusätzliche elektrische Energiespeicher 19 zu dem vorhandenen 12 Volt-Bordnetz beziehungsweise zur Fahrzeugbatterie 20 als Speicher des Bordnetzes in Reihe geschaltet. Der zusätzliche elektrische Energiespeicher 19 wird über eine Ladeschaltung 22 geladen. Die elektrischen Hochleistungsverbraucher 10, 11, die beispielsweise als elektrische Servolenkungen und/oder elektromechanische Wankstabilisatoren realisiert sein können, werden mit der Summe der beiden Spannungen aus der Fahrzeugbatterie 20 und dem Energiespeicher 19 versorgt. Die Versorgungsspannung ist gegenüber der Bordnetzspannung etwa um 30% erhöht, das heißt sie beträgt rund 16 Volt. Hierbei eignet sich als zusätzlicher elektrischer Energiespeicher neben einer weiteren Batterie vorzugsweise ein Doppelschichtkondensator. Diese Kondensatoren ermöglichen es, den gesamten Spannungshub des Energiespeichers zu durchlaufen, so dass eine vollständige Energieentnahme möglich ist. Dabei verbleibt immer die Bordnetzspannung als Rückfallebene.

Dienen Doppelschichtkondensatoren als mehrstufige Energiespeicher, so werden wesentlich weniger Einzelelemente als bei einer Parallelschaltung zum Bordnetz benötigt. Der Grund liegt darin, dass bei der Parallelschaltung zum Bordnetz bereits einige in Reihe geschaltete Einzelelemente des Kondensators benötigt werden, um die Bordnetzspannung zu erreichen, und nur der darüber hinausgehende Teil der Elemente kann für den Spannungshub verwendet werden. Weiterhin ist bei einer Serienschaltung aufgrund erhöhter Ausgangsspannung im Vergleich zur Parallelschaltung eines zusätzlichen Energiespeichers bei gleichem Verbraucher-

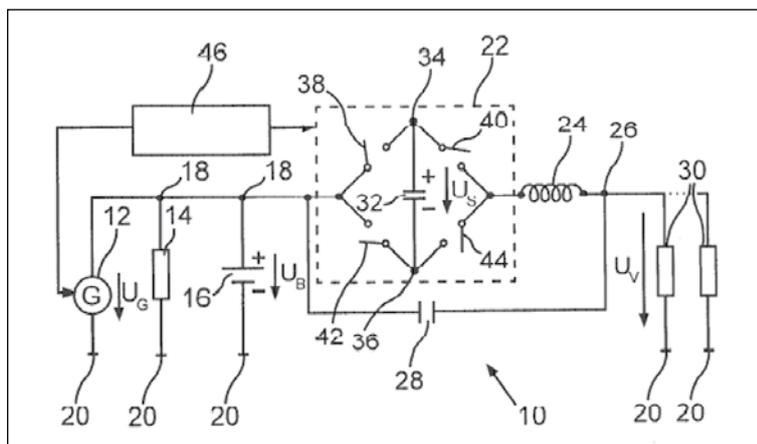
eingangstrom eine höhere Leistungsentnahme möglich, wodurch höhere Verbraucherleistungen realisiert werden können.

Bei einer Funktionsstörung der Ladeschaltung 22 oder einem Fehlerfall des zusätzlichen Energiespeichers 19 können über eine von einer Diode 19 gesteuerte Bypassleitung die Hochleistungsverbraucher 10, 11 aus dem Bordnetz im Rahmen eines Notbetriebs weiterversorgt werden.

## 2.5 Umpolbare Reihenschaltung eines Energiespeichers zur Fahrzeugbatterie

Für den ordnungsgemäßen Betrieb eines Bordnetzes sind allerdings nicht nur Unterspannungen, sondern auch Überspannungen einzuschränken. Eine solche Überspannung kann beispielsweise dadurch entstehen, dass ein parallel zur Fahrzeugbatterie gekoppelter elektrischer Hochleistungsverbraucher abgeschaltet wird. In diesem Falle entsteht eine Spannung im Bordnetz, die größer als die im Normalbetrieb vom Generator erzeugte Spannung ist. Bei einer solchen Überspannung ist der Generator alleine nicht in der Lage, diese schnell genug zu kompensieren.

Aus diesem Grund schlägt die Offenlegungsschrift DE 10 2009 024 374 A1 vor, mit einem zusätzlichen Energiespeicher in umpolbarer Reihenschaltung zur Fahrzeugbatterie Spannungseinbrüche und Überspannungen zu kompensieren, vergleiche Figur 5.



Figur 5: Bordnetz nach der DE 10 2009 024 374 A1.

Hierzu weist ein Bordnetz 10 einen Generator 12 und parallel dazu geschaltet jeweils einen Hochleistungsverbraucher 14 sowie eine Fahrzeugbatterie 16 auf. Ein Primärpol 18 ist über Schaltmittel 22 und eine Spule 24 mit einem Sekundärpol 26 gekoppelt. Zwischen dem Sekundärpol 26 und dem Bezugspotenzial 20 ist eine Vielzahl von spannungssensiblen Verbrauchern 30 geschaltet, die mit der Bordnetzspannung  $U_V$  beaufschlagt werden.

Das Bordnetz 10 umfasst weiterhin einen Doppelschichtkondensator 32 als zusätzlichen Energiespeicher, der einen positiven Anschluss 34 sowie einen negativen Anschluss 36 aufweist. Über die Schalter 38 bis 44 lässt sich der Doppelschichtkondensator 32 auf verschiedene Arten mit dem Primärpol 18 sowie dem Sekundärpol 26 koppeln.

Im Normalbetrieb liefert der Generator 12 eine Spannung, beispielsweise in der Größenordnung von 14,5 Volt. Die Schalter 38, 40 sind dabei geschlossen, so dass der Doppelschichtkondensator 32 überbrückt ist und die Bordnetzspannung  $U_V$  gleich der Generatorspannung  $U_G$  ist.

Für einen Ladebetrieb wird der Doppelschichtkondensator 32 während eines ersten Zeitintervalls durch die geschlossenen Schalter 38 und 40 überbrückt und während eines deutlich kürzeren zweiten Zeitintervalls bei geschlossenen Schaltern 38 und 44 mit dem positiven Anschluss 34 an den Primärpol 18 sowie mit dem negativen Anschluss 36 an den Sekundärpol 26 angeschlossen. Durch abwechselndes Schalten zwischen diesen beiden Zuständen kann der Doppelschichtkondensator 32 geladen und die Bordnetzspannung  $U_V$  etwa auf der Generatorspannung  $U_G$  gehalten werden.

Wird nun der Hochleistungsverbraucher 14 eingeschaltet, so droht die Generatorspannung  $U_G$  einzubrechen. Als Gegenmaßnahme schaltet die

Steuereinrichtung 46 in einen Schaltzustand, in dem der negative Anschluss 36 mit dem Primärpol 18 und der positive Anschluss 34 mit dem Sekundärpol 26 verbunden ist.

Um bei einem 5 Volt-Doppelschichtkondensator 32 die Bordnetzspannung  $U_v$  auf einen bestimmten Wert einzustellen, kann es erforderlich sein, diesen Schaltzustand mit einem Überbrückungszustand des Kondensators 32 abzuwechseln. So kann nämlich ein durch einen Tiefpassfilter 24, 28 geglätteter, beliebiger Mittelwert der Bordnetzspannung  $U_v$  eingestellt werden.

Wird allerdings der Hochleistungsverbraucher 14 ausgeschaltet, so kommt es zu einer temporären Erhöhung der Generatorspannung  $U_c$ , da der Generator 12 zu träge ist, diese Spannungsanhebung schnell auszugleichen. In diesem Fall erfolgt eine Verschaltung des Doppelschichtkondensators 32 mit dem positiven Anschluss 34 an dem Primärpol 18 und mit dem negativen Anschluss 36 an dem Sekundärpol 26. Um auch hier eine bestimmte Bordnetzspannung  $U_v$  einstellen zu können, erfolgt dabei analog zur Vorgehensweise bei der Unterspannungskompensation wiederum eine zeitweise Überbrückung des Kondensators 32.

Mit einer derartigen Konfiguration können ohne großen Aufwand sowohl Überspannungen als auch Unterspannungen kompensiert werden. Gleichzeitig eröffnen sich mit den Verschaltungsmöglichkeiten der Schaltmittel 22 weitere Funktionsweisen des zusätzlichen Energiespeichers. Der Doppelschichtkondensator 32 kann beispielsweise für die Speicherung von Brems-/Schubenergie aus Rekuperationsvorgängen genutzt werden. Zudem ist die Durchführung eines Regenerationsbetriebs für die Fahrzeugbatterie durch eine bewusste, zeitlich beschränkte Erhöhung der Generatorspannung  $U_c$  möglich. Bei einem Bleiakкумуляtor wird dabei einer Sulfatierung entgegengewirkt. Die vom Generator G erzeugte erhöhte Spannung kann nämlich mithilfe des Doppelschichtkondensators 32 für die elektrischen Verbraucher geeignet erniedrigt werden.

### 3 Ausblick

Abhängig von der konkreten Anwendung stehen dem Fachmann verschiedenste Lösungswege zur Einschränkung von unerwünschten Spannungsschwankungen in Fahrzeugbordnetzen zur Verfügung. Jeder einzelne Lösungsvorschlag zeichnet sich durch spezielle Vorzüge aus. Mit dem Trend zur weiteren Elektrifizierung von Kraftfahrzeugen nimmt der Anteil elektrischer Verbraucher weiterhin kontinuierlich zu. Dies betrifft bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen auch den Antriebsstrang. Hierbei etablieren sich zunehmend Mischsysteme aus Hochspannungs-Leistungsnetzen in Kombination mit Niederspannungs-Bordnetzen. Daraus können neue Wirkungskombinationen, aber auch Spannungsprobleme erwachsen, deren Bearbeitung weitere Entwicklungen erwarten lässt.

# Von der reinen Geschwindigkeitsregelung zu mitdenkenden Fahrerassistenzsystemen

Dr. Peter Christ, Dipl.-Ing. Michael Koch, Patentabteilung 1.56

Aus der reinen Geschwindigkeitsregelung, die über eine Steuerung der Brennstoffzufuhr des Motors die Fahrzeuggeschwindigkeit konstant hält, entwickelten sich über die Zeit immer komplexer werdende Assistenzsysteme, die nun auch in der Lage sind, umfassendere Verkehrssituationen zu berücksichtigen. Dazu verarbeiten sie Daten verschiedenster Sensorsysteme und beeinflussen neben der Motorsteuerung weitere Systeme wie Bremsen und Lenkung. Diese Entwicklung ist keinesfalls abgeschlossen, sondern zeichnet sich aktuell durch eine hohe Dynamik aus, wobei neben einem höheren Fahrkomfort die Steigerung der Fahrzeugsicherheit und Energieeffizienz immer mehr an Bedeutung gewinnt.

## 1 Einleitung

Die Anmeldezahlen in der Klasse B60K 31, in der Vorrichtungen am Fahrzeug für nur ein einziges Unteraggregat für die selbsttätige Steuerung oder Regelung der Fahrzeuggeschwindigkeit klassifiziert sind, entwickelten sich in den letzten Jahren eher rückläufig. Im gleichen Zeitraum stiegen die Anmeldezahlen in den Klassen B60W 30/10 - 30/17, die Systeme umfassen, welche eine gemeinsame Steuerung oder Regelung von Fahrzeug-Unteraggregaten verwenden. Dieser Zusammenhang zeigt deutlich den Trend weg von der „einfachen“ Geschwindigkeitsregelung hin zu komplexeren Systemen, die den Fahrer in mehrfacher Hinsicht unterstützen und dabei vor allem das Ziel haben, den Fahrkomfort, die Fahrsicherheit und die Energieeffizienz zu verbessern. Diese Entwicklung der Fahrerassistenzsysteme soll nun im Folgenden näher beleuchtet werden.

## 2 Geschwindigkeitsregelung

### 2.1 Die Anfänge

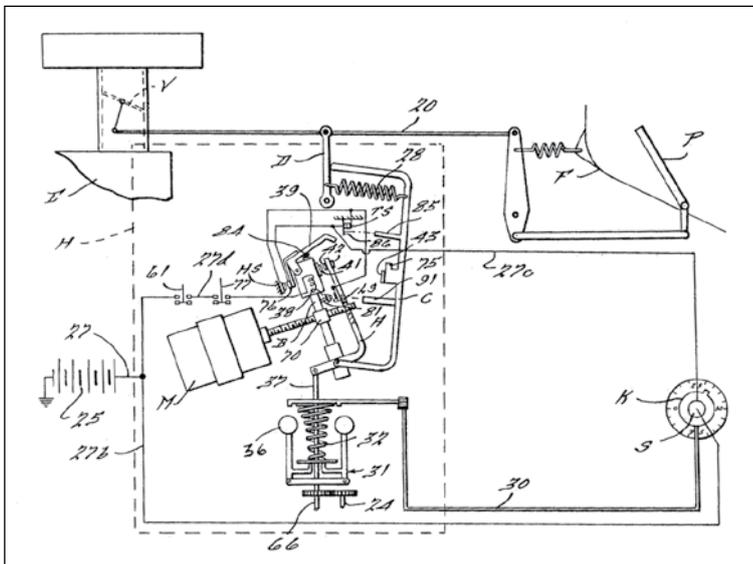
Im Jahr 1788 führte James Watt Fliehkraftregler, die bis dahin bereits in Wind- und Wassermühlen eingesetzt wurden, zur Regelung der Drehzahl von Dampfmaschinen ein. Später wurden Fliehkraftregler auch zur Drehzahlregelung von Verbrennungsmotoren

verwendet (GB 1898 10931 A, GB 1898 12341 A). Teilweise steuerten sie dabei nicht nur die Kraftstoffzufuhr, sondern, wie die GB 1898 08496 A zeigt, auch das Übersetzungsverhältnis des Getriebes und die Kupplung eines Kraftfahrzeugs. Als Regelgröße wurde dabei jeweils direkt die Drehzahl der Kraftmaschine verwendet und somit nur mittelbar die Geschwindigkeit des Fahrzeugs geregelt. Ein Fliehkraftregler, der über eine flexible Welle direkt mit einem Rad eines Fahrzeugs verbunden ist, ist aus der GB 1908 17270 A aus dem Jahr 1908 bekannt.

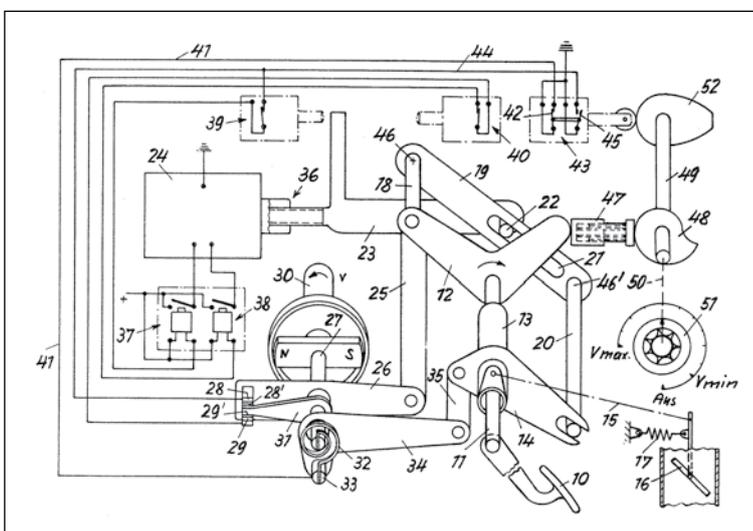
Ebenfalls auf dem Prinzip des Fliehkraftreglers basieren die in den Druckschriften DE 174 090 A, DE 465 593 A und DE 755 382 A gezeigten Systeme zur Geschwindigkeitsbegrenzung, die für eine Verminderung oder Unterbrechung der Brennstoffzufuhr sorgen, sobald das Fahrzeug eine bestimmte, fest eingestellte Maximalgeschwindigkeit überschreitet.

Als Erfinder der Geschwindigkeitsregelung (Cruise Control) gilt Ralph R. Teetor. Aufgrund seiner Blindheit war er immer auf Fahrer angewiesen, die sich durch sehr unterschiedliche Fahrweisen auszeichneten. Angeblich kam ihm in den 1940er Jahren durch den holprigen Fahrstil seines Patentanwalts die Idee zu einer Geschwindigkeitsregelung [1], [2]. Seine in der US 2 519 859 A beschriebene Geschwindigkeitsregelung setzt dem Gaspedal einen spürbaren Widerstand in Form eines Anschlags entgegen,

wenn das Fahrzeug die gewünschte, vom Fahrer mit einem Drehknopf einstellbare, Geschwindigkeit erreicht hat. Der Fahrer kann durch stärkeres Treten des Gaspedals eine höhere Geschwindigkeit erreichen, muss jedoch mit seinem Fuß ständig auf dem Gaspedal bleiben. In der US 2 916 100 A stellt Teetor eine Geschwindigkeitsregelung vor, bei der der Fahrer während der aktiven Regelung seinen Fuß vom Gaspedal nehmen kann. Bei anschließendem Betätigen des Bremspedals wird die Geschwindigkeitsregelung jedoch abgebrochen, wie dies bei modernen Systemen auch heute noch Standard ist.



Figur 1: Aufbau der ersten in einem Serienfahrzeug eingesetzten Geschwindigkeitsregelung (aus US 3 322 226 A).



Figur 2: Aufbau der ersten in Europa in einem Serienfahrzeug eingesetzten Geschwindigkeitsregelung (aus DE 1 214 557 A).

## 2.2 Erster Einsatz in Serienfahrzeugen

Bis zum ersten Einsatz in einem Serienfahrzeug vergingen noch einige Jahre. Erst 1958 bot die Firma Chrysler für rund 90 Dollar Aufpreis eine solche Geschwindigkeitsregelung, ihren „Auto-Pilot“ [4], für den Chrysler Imperial als Option an [3]. Figur 1 zeigt eine Skizze des komplexen mechanischen Aufbaus dieses Systems.

Ein Stellmotor M greift über eine komplizierte Mechanik an der direkten mechanischen Verbindung zwischen dem Gaspedal P und der Drosselklappe V ein.

Das Steuersignal bekommt der Stellmotor M von einem Fliehkraftregler 31, der über einen Drehknopf K, mit dem der Fahrer die gewünschte Sollgeschwindigkeit einstellen kann, justiert wird (US 3 322 226 A). In Europa wurde eine derartige Geschwindigkeitsregelung für Serienfahrzeuge als „Tempomat“ [5] im Jahr 1962 durch die Daimler-Benz AG eingeführt [3]. Auch dieses System war noch rein mechanisch aufgebaut wie Figur 2 (DE 1 214 557 A) zeigt.

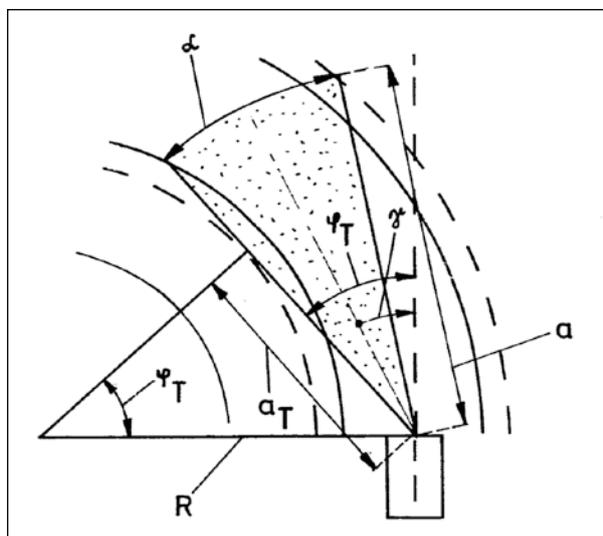
Die Drosselklappe 16 wird über ein kompliziertes Gestänge sowohl vom Gaspedal 10 als auch von einem Stellmotor 24 gesteuert. Der Stellmotor bekommt seine Steuersignale durch die Kontakte 28, 28' und 29, 29', wobei der Istwertgeber 31 die Funktion einer durch die Welle 30 angetriebenen Tachonadel besitzt. Der Sollwertgeber 26 wird über den Hebel 12 und die Nockenscheibe 48 mit dem Einstellknopf 51 auf die gewünschte Sollgeschwindigkeit eingestellt. Später wurden auch elektronische Systeme entwickelt, die in der Lage waren, Sollgeschwindigkeiten zu speichern, und die zudem eine einfache Bedienung über Taster ermöglichten (DE 26 09 867 A1).

### 3 Berücksichtigung des Abstands zum vorausfahrenden Fahrzeug

#### 3.1 Einsatz bei fließendem Verkehr

Ein Großteil der Personen- und Sachschäden ist, vor allem auf Autobahnen, auf Auffahrunfälle zurückzuführen, weshalb schon früh mit der Entwicklung von Geräten begonnen wurde, die für das Einhalten eines Sicherheitsabstands zum vorausfahrenden Fahrzeug sorgen sollten [6]. Diese Systeme warnten den Fahrer bei einem zu geringen Abstand zum Vordermann oder griffen direkt in die Motorsteuerung oder das Bremssystem ein (DE 26 42 211 A1). Um den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu messen, wurden Lidar- und die teureren, aber witterungsunabhängigeren Radar-Systeme vorgeschlagen [7]. Diese Systeme detektieren jedoch nicht nur das vorausfahrende Zielfahrzeug, sondern auch Gegenstände am Rand der Fahrbahn oder Fahrzeuge auf benachbarten Spuren. Insbesondere in Kurven besteht daher die Gefahr von Fehlalarmen oder unmotivierten Eingriffen in das Bremssystem, was wiederum zu gefährlichen Situationen oder zumindest zu einer Irritation des Fahrers führen kann.

Um dem zu begegnen wurden für Kurvenfahrten eine Verringerung der Reichweite (beziehungsweise Detektionstiefe) [6] oder Systeme mit schwenkbaren Antennen vorgeschlagen. Figur 3 zeigt ein solches



Figur 3: Radarsystem mit schwenkbaren Antenne (aus DE 26 23 643 A1).

System, bei dem der Radarkegel gegenüber der aktuellen Fahrtrichtung des Fahrzeuges um den Winkel  $\gamma$  verschwenkt ist um auch in einer Kurve eine größere Detektionstiefe  $a$  zu erhalten. Eine weitere, weniger aufwendige Möglichkeit war, das Abstandsregel- oder Abstandswarngerät beim Durchfahren einer Kurve zu deaktivieren (DE 42 08 012 A1), oder die Fahrzeuggeschwindigkeit in einer Kurve abhängig von deren Krümmungsradius oder der am Fahrzeug auftretenden Querbewegung zu regeln (DE 30 34 199 A1, DE 29 00 461 A1).

1996 bot Toyota das erste Seriensystem an, das zur Abstandsmessung mit einem Lidar-System ausgerüstet war und keinen Bremsengriff vorsah [7]. In Europa führte 1999 die Daimler-Benz AG in seiner S-Klasse das erste Abstandsregelsystem in einem Serienfahrzeug ein, welches mit Radar und Bremsengriff ausgestattet war. Ein Jahr später folgte BMW mit einem System von Bosch [7]. Da diese Fahrgeschwindigkeitsregelungen bei freier Fahrt auf eine eingestellte Sollgeschwindigkeit und bei Vorhandensein eines vorausfahrenden Fahrzeugs auf einen vorgegebenen Sicherheitsabstand einregelten, sich also an die Verkehrssituation anpassen, etablierte sich für solche Systeme die Bezeichnung Adaptive Cruise Control (ACC).

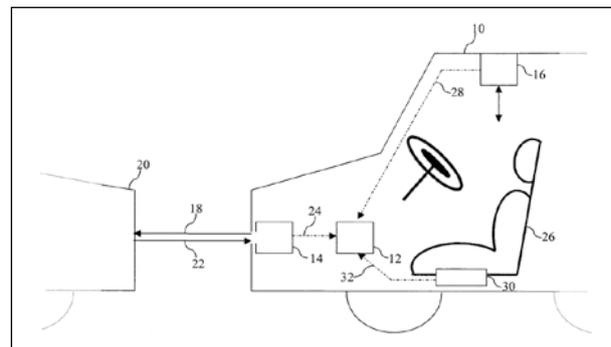
#### 3.2 Stauassistentenz

Zunächst wurden ACC-Systeme nur für höhere Geschwindigkeiten ( $> 30$  km/h), vor allem für Autobahnfahrten eingesetzt. Um einen weiteren Komfortgewinn zu erzielen, wurden schon bald Geschwindigkeitsregelungen vorgeschlagen, die in der Lage waren, das Fahrzeug bis in den Stillstand abzubremsen und somit auch in Stausituationen eingesetzt werden konnten. Ein solches ACC-System mit einer sogenannten Stop-and-go-Funktion ist beispielsweise in der DE 198 33 645 A1 beschrieben. Gemäß der DE 196 54 769 A1 sollten Abstandsregelsysteme durch geeignete Regelung der Abstände und Relativgeschwindigkeiten zwischen den Fahrzeugen bei dichtem Verkehr dazu beitragen, Staus zu vermeiden oder wenigstens zu verringern.

Für die Stop-and-go-Funktion sind andere Vorgehensweisen und Detektorsysteme nötig beziehungsweise sinnvoll als zur Durchführung einer herkömmlichen Abstandsregelung bei höheren Geschwindigkeiten. Bei letzterer wird der Abstand typischerweise über einen zeitlichen Abstand, eine Zeitlücke, geregelt, um bei höheren Geschwindigkeiten einen größeren räumlichen Sicherheitsabstand zu erhalten. Eine Regelung auf Basis einer Zeitlücke ist bei teilweise stehendem Verkehr wie Stau jedoch nicht sinnvoll. Zudem werden bei den kurzen Abständen der Fahrzeuge im Stau anstatt Radar- oder Lidarsystemen oft Ultraschallsysteme zur Abstandsmessung eingesetzt. Aus diesen Gründen existierten für die beiden Geschwindigkeitsbereiche oberhalb und unterhalb etwa 30 km/h zunächst praktisch zwei getrennte Systeme oder zumindest unterschiedliche Betriebsmodi, zwischen denen der Fahrer manuell umschalten musste (DE 101 49 090 A1). Im Bemühen, dem Fahrer ein einheitliches System bereitzustellen und damit die Bedienung für ihn einfacher und übersichtlicher zu gestalten, wurde beispielsweise in der DE 101 51 717 A1 ein Geschwindigkeitsregelsystem vorgeschlagen, das sich dem Fahrer, trotz unterschiedlichen Verhaltens in den beiden Geschwindigkeitsbereichen, als ein homogenes und intuitiv zu bedienendes System präsentiert.

Besonderere Aufmerksamkeit bedarf bei der Stop-and-go-Regelung die Situation, wenn nach einem Abbremsen in den Stillstand sich das vorausfahrende Fahrzeug wieder in Bewegung setzt. Soll ihm das eigene Fahrzeug dann selbstständig folgen, oder nicht? In der DE 10 2004 024 705 A1 wird hierzu vorgeschlagen, dass der Fahrer vom Stop-and-go-System optisch oder akustisch benachrichtigt wird, wenn das vorausfahrende Fahrzeug losfährt. Erst nachdem der Fahrer durch eine Bedienaktion quittiert, dass er anwesend und zum Weiterfahren bereit ist, setzt sich das eigene Fahrzeug in Bewegung. Um die Stop-and-go-Regelung noch komfortabler zu gestalten, kann in dieser Situation auch vorgesehen sein, dass das Fahrzeug selbstständig, also ohne explizite Aufforderung durch den Fahrer, wieder losfährt. In diesem Fall muss jedoch sichergestellt sein, dass der Fahrer anwesend ist und beispielsweise nicht gerade den Fahrersitz verlassen

hat um etwas aus dem Kofferraum zu holen. Zu diesem Zweck wurden in der EP 0 976 628 B1 Türkontakte und Sitzsensoren vorgeschlagen. Um zudem auszuschließen, dass der Fahrer durch eine auf dem Fahrersitz abgestellte Tasche oder ein Kind, welches im stehenden Fahrzeug auf den Fahrersitz klettert, „vertreten“ wird, kann zusätzlich auch das Gewicht und die Größe des mutmaßlichen Fahrers bestimmt werden, wie aus der DE 10 2005 041 853 A1 bekannt ist. In der Figur 4 ist gezeigt, wie unter Einsatz einer Wärmebildkamera 16 und einer Kraftmesseinrichtung 30 die Anwesenheit eines Fahrers überprüft wird. Zudem kann nach einer gewissen Zeit nach dem Anhalten des Fahrzeugs das ACC-System vollständig deaktiviert werden, da davon auszugehen ist, dass der Fahrer nach einiger Zeit nicht mehr an die aktive Stop-and-go-Regelung denkt und deshalb durch ein plötzliches Losfahren des Fahrzeugs überrascht werden würde (DE 10 2005 022 676 A1).

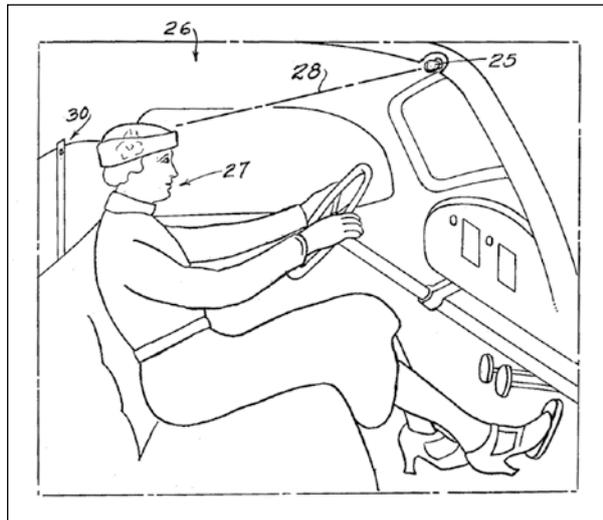


Figur 4: Abstandsregelsystem mit Stop-and-go-Funktion und Fahrersitzüberwachung (aus DE 10 2005 041 853 A1).

#### 4 Einbeziehung des Fahrerzustands

Beim Führen eines Kraftfahrzeugs spielt jedoch nicht nur die Anwesenheit des Fahrers, sondern vor allem auch dessen Aufmerksamkeit und Gesundheitszustand eine wesentliche Rolle, um die erforderliche Sicherheit im Straßenverkehr zu gewährleisten. Aus der Bahntechnik waren auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik die sogenannten „Totmann-Einrichtungen“ (DE 38 35 47 A) schon länger bekannt. Daher wurden auch für Kraftfahrzeuge bald Systeme vorgeschlagen, die eine Warnung oder sogar eine Notbremsung mit Abschaltung des Motors auslösen, wenn der Kraftfahrer

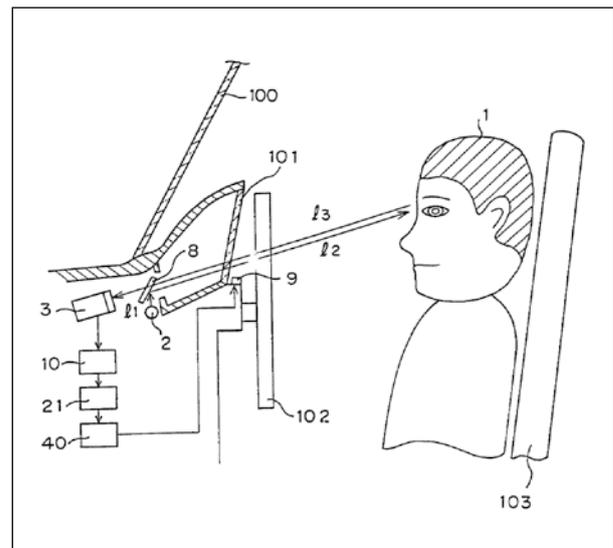
nicht mehr aufrecht auf dem Fahrersitz sitzt und das Lenkrad umfasst, zum Beispiel aufgrund plötzlicher gesundheitlicher Probleme (US 2 172 116 A, Figur 5).



Figur 5: Fahrerüberwachung; sobald der Fahrer die Lichtschranke zwischen der Lampe 25 und der Fotodiode 30 verlässt, wird ein Alarm ausgelöst (aus US 2 172 116 A).

Die Erfassung der Konzentration oder Müdigkeit des Fahrers basierend auf einer Messung des ohmschen Widerstandes des menschlichen Körpers markiert den Beginn der Nutzung biometrischer Messdaten für Einrichtungen im Fahrzeug. Zu Anfang wurde hierbei der Widerstand des menschlichen Körpers noch mittels einer zusätzlichen, separaten Elektrode erfasst (DE 87 84 67 B), später nur noch mithilfe eines speziell ausgebildeten Lenkrades (DE 1 815 468 B). Bei einer festgestellten Ermüdung des Fahrers wurde ein Alarm ausgelöst, um ihn zu warnen und am Einschlafen zu hindern. Neben optischen und akustischen Warnsignalen kamen zunehmend auch haptische Signale zum Einsatz, beispielsweise das automatische Auslösen eines Bremsruckes (DE 2 518 930 A1), die aktive Ansteuerung der Rückstellkraft des Gaspedals (US 4 234 051 A) oder die Erzeugung von Vibrationen im Fahrersitz oder Lenkrad (DE 38 22 193 A1). Andere Ansätze schlugen zum Aufwecken des Fahrers sogar die Kombination akustischer Wecksignale mit speziell definierten Stromstößen (DE 100 65 415 A1) oder eine abgestimmte Erzeugung von Klang und Duft vor (EP 2 138 989 A1). Mit der zunehmenden Verbreitung von automatischen Geschwindigkeits- und Abstandsregelungen im Fahr-

zeug erfolgten auch Kombinationen derartiger Sicherheitsvorrichtungen. Zur Überwachung des Fahrerzustands wurden hierbei weitere biometrische Daten wie der Herzschlag (DE 3 443 644 A1) oder Reaktionen und Aktivität der Augen einbezogen (DE 3 803 916 A1; DE 195 09 689 A1, Figur 6).

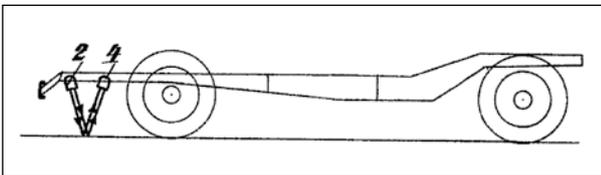


Figur 6: Überwachung der Verfassung des Fahrers durch Messung der Augenaktivität (aus DE 195 09 689 A1).

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Sensorik sowie die immer leistungsfähigeren und vernetzten Fahrerassistenzsysteme führten dazu, die Methoden der Fahrerzustandsüberwachung nicht nur zur Warnung und Notbremsung, sondern auch zur Verbesserung der Fahrleistungen des Fahrers zu nutzen und ihn in seiner jeweiligen Situation optimal zu unterstützen. Hierzu wurden vermehrt Messdaten mehrerer Fahrzeugsysteme kombiniert (DE 601 15 693 T2) und algorithmische Verfahren zur Erkennung der Fahrerermüdung und -aufmerksamkeit eingesetzt, zum Beispiel durch Berechnung der Monotonie der aktuellen Fahrsituation (EP 1 933 277 B1) oder durch Blickbeobachtung (WO 2007/145 566 A1). Eine aktive Unterstützung des Fahrers findet meist abgestuft statt und reicht von optischen, akustischen oder haptischen Warnmeldungen sowie Pausenempfehlungen über automatische Eingriffe in das Audiosystem, beispielsweise zum Wechseln von Musikprogrammen, bis hin zu Nothaltesystemen, die das Fahrzeug selbsttätig am Straßenrand sicher zum Stillstand bringen.

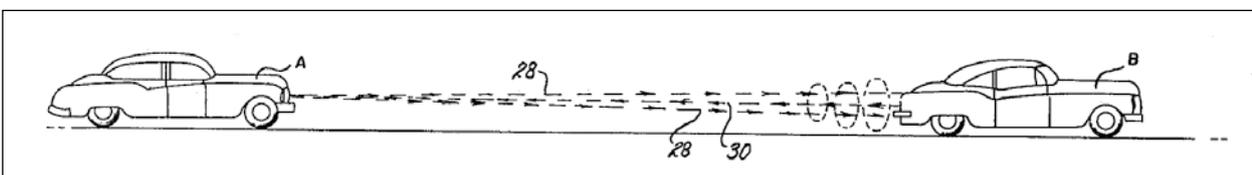
## 5 Der Weg zu „mitdenkenden“ Systemen

Ein entscheidender Faktor bei der Entwicklung der Fahrerassistenzsysteme war die Verfügbarkeit geeigneter Sensoren zur Erfassung der Messgrößen von Fahrzeug, Fahrer sowie der Fahrzeugumgebung. So benötigten die ersten Spurhaltungssysteme noch eine spezielle Führungslinie auf der Straße, die angestrahlt und über Reflexion fotoelektrisch ausgewertet wurde (AT 146 231 B, Figur 7). Auch frühe Abstandskontrollsysteme nutzten ein Peilverfahren auf Basis einer Lichtquelle (US 2 216 575 A).



Figur 7: System zum optischen Abtasten einer Führungslinie auf der Fahrbahn (aus AT 146 231 B).

Nachdem sich die Assistenzsysteme im ersten Schritt auf eine einzige Funktionalität beschränkten, gab es schon bald Ansätze zu Kombinationen, wie Geschwindigkeitsregelung mit Spurhaltung, dies allerdings noch spurgebunden und mit entsprechenden Hilfsmitteln auf der Straße (US 2 493 755 A). Da ein flächendeckender Ausbau der Verkehrsinfrastruktur mit derartigen Hilfsmitteln nicht zu erwarten war, konzentrierte man sich fortan auf Systeme, die keine zusätzlichen Hilfsmittel auf der Straße benötigten, sondern beispielsweise den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug mithilfe eines im eigenen Fahrzeug verbauten Hochfrequenz-Senders/Empfängers ermittelten (US 2 804 160 A, Figur 8). Neben der Geschwindigkeits- und Abstandsregelung sowie der Spurhaltung bildete dabei die Kollisionsvermeidung einen Schwerpunkt der Arbeiten, wobei immer wieder neue Sensoren zum Einsatz kamen, wie zum Beispiel Laserdioden und entsprechende optische Detektoren (DE 20 45 138 A).



Figur 8: Automatisches Fahrsteuerungssystem, das keine zusätzlichen Hilfsmittel auf der Straße benötigt (aus US 2 804 160 A).

## 5.1 Sensordatenfusion und „C2X“-Kommunikation

Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu modernen Fahrerassistenzsystemen war die Kombination mehrerer Sensoren innerhalb eines Systems. Die zunehmende Vernetzung der Steuergeräte im Fahrzeug kam diesen Bestrebungen sehr entgegen. In den ersten Ansätzen wurden mehrere gleichartige Sensoren kombiniert, um die Auflösung und Zuverlässigkeit der Systeme zu verbessern (DE 23 27 186 A). Später wurde dazu übergegangen, auch unterschiedliche Sensoren, zum Teil von verschiedenen Steuergeräten im Fahrzeug, für neue Funktionalitäten zu kombinieren (DE 38 20 589 A1). Diese als „Sensordatenfusion“ bezeichnete Methode ermöglicht neben der Plausibilisierung von Sensordaten zur Erhöhung der Zuverlässigkeit auch eine Reduzierung des Signalverarbeitungsaufwandes (DE 195 46 507 A1). Darüber hinaus ließen sich erst hierdurch „mitdenkende“ Fahrerassistenzsysteme realisieren, die den Fahrer – angepasst an die jeweilige Fahrsituation – optimal unterstützen. Der Einsatz von Kameras und Bildverarbeitung im Fahrzeug ermöglichte hierbei die automatische Verkehrszeichenerkennung (US 2005 0 232 469 A1) und führte zu einer verbesserten Visualisierung der Fahrzeugumgebung, insbesondere auch bei schlechten Sichtverhältnissen (DE 102 27 171 A1), sowie einer verbesserten Bestimmung des Straßentyps und Fahrbahnverlaufs (DE 102 54 806 A1). Zusätzlich wurden auch Daten eines Navigationssystems einbezogen.

Bereits sehr früh wurde festgestellt, dass nicht alle Fahrsituationen nur auf Basis von Daten erkannt und beurteilt werden können, die vom eigenen Fahrzeug aus ermittelt wurden. Gerade in Unfallsituationen oder unübersichtlichem Gelände ist dieser Aspekt von Bedeutung. Daher gab es bereits bald Vorschläge zur Gefahrenwarnung und -signalisierung von einem Unfallfahrzeug aus an andere Verkehrsteilnehmer, zum Beispiel mittels künstlich erzeugtem Rauch und

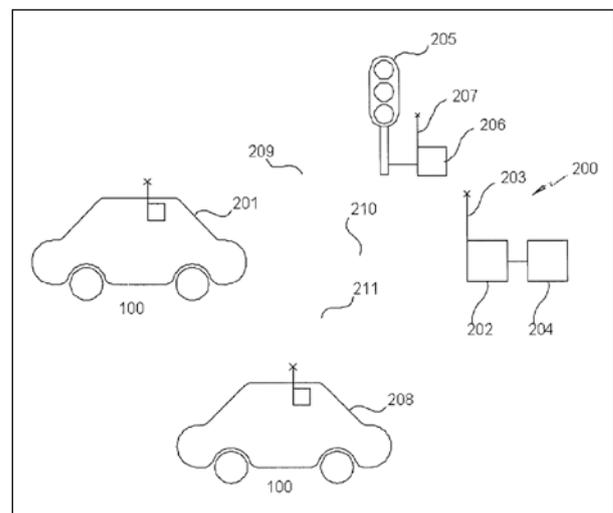
Sende-/Empfangseinrichtungen (DE 23 50 134 A). Andere Vorschläge sahen auch eine Warnung vor besonderen Verkehrssituationen vor, wie Stau oder bei sich nähernden Einsatzfahrzeugen. Mit der Übertragung von Informationen benachbarter Fahrzeuge ohne Hilfe von Satelliten und speziellen Straßeneinrichtungen (DE 40 34 681 C2), insbesondere zum Austausch von Fahrzeugdaten zur Abstimmung des Fahrverhaltens der einzelnen Fahrzeuge untereinander (DE 199 14 906 A1), etablierte sich in der Fachwelt immer mehr der Begriff der „Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation“. Im englischen Sprachraum sind hierfür die Bezeichnungen „car-to-car-communication“ oder „vehicle-to-vehicle-communication“ üblich, mit den Abkürzungen „C2C“ oder „V2V“. Durch die Einführung von Systemen, die bei einem bevorstehenden Unfall bereits prädiktiv einen Notruf an eine Zentrale absetzen (DE 199 17 207 A1), sowie mit der kommunikativen Einbindung von Verkehrszeichen (US 5 847 661 A) erweiterte sich die Fahrzeugkommunikation nach außen hin zusätzlich zur Infrastruktur. Diese Variante wurde fortan als „Fahrzeug-zu-Infrastruktur Kommunikation“ bezeichnet mit den Abkürzungen „C2I“ oder „V2I“ sowie „C2X“ oder „V2X“ als Kürzel für beide Kommunikationsformen.

Ein großer Vorteil der C2C-Kommunikation ist die Erweiterung des Sichtfeldes des Fahrers, da bei unübersichtlichen Fahrsituationen das Blickfeld aus einem vorausfahrenden Fahrzeug übertragen und somit auch von weiter hinten fahrenden Fahrzeugen genutzt werden kann (DE 10 2006 016 807 A1). Gerade bei Fahrerassistenzsystemen eröffneten C2X-Mechanismen als weitere Datenquellen in Verbindung mit der Sensordatenfusion neue Möglichkeiten bei der Gewinnung von Umgebungsinformationen und der davon abhängigen Steuerung der Fahrzeugsysteme (DE 10 2008 029 112 A1; DE 10 2010 006 084 A1). Figur 9 zeigt zwei Fahrzeuge 201 und 208 sowie zwei Infrastruktureinrichtungen 205 und 204, die jeweils mit Sende- und Empfangsanlagen ausgerüstet sind. Damit ist es möglich, dass nicht nur die Fahrzeuge untereinander (C2C), sondern diese auch mit unterschiedlichen Infrastruktureinrichtungen (C2X), wie zum Beispiel einer Ampelanlage 205, Informationen austauschen können.

## 5.2 Situationsspezifische Unterstützung

Ausgehend von den ursprünglich rein passiven, aufwendigen Spiegelsystemen zur Überwachung des Bereichs hinter dem Fahrzeug sowie möglicher toter Winkel (US 2 279 751 A, US 3 229 580 A), gab es bald die ersten Vorschläge für eine aktive Überwachung dieser Problembereiche mithilfe von Sensoren (DE 31 48 370 A1, DE 39 02 852 A1). Auch für Fahrsituationen wie das Rückwärtsfahren (DE 27 27 303 A1) oder das Einhalten von Geschwindigkeitsbegrenzungen (DE 36 19 824 C2) gab es erste Ansätze zur Unterstützung des Fahrers.

Mit den Fortschritten im Bereich der Sensorik erhöhte sich die Anzahl der Assistenzsysteme für spezielle Fahrsituationen beträchtlich. Auf die ersten Systeme zur Totwinkel-Überwachung folgten Spurwechsel- und Überholassistenten, die den Fahrer informierten, ob die entsprechenden Manöver gefahrlos möglich sind (DE 36 22 447 C1, DE 40 05 444 A1). Weitere Systeme kamen hinzu zur Unterstützung des Fahrers auf Kreuzungen (US 5 939 976 A) oder zur Verhinderung einer möglichen Geisterfahrt bei Autobahneinfahrten mithilfe der Methoden der Bilderkennung, der Sprachausgabe zur Warnung des Fahrers sowie dem Auslösen einer automatischen Notbremsung (DE 102 00 785 B4). Neuere Systeme unterstützen den Fahrer auch beispielsweise bei der Durchfahrt von Engstellen (DE 10 2005 062 151 B4) sowie bei der optimalen Ausnutzung von Ampelphasen im Stadtverkehr (DE 10 2008 035 992 A1).



Figur 9: C2X-Kommunikation zur Geschwindigkeitsregelung (aus DE 10 2008 029 112 A1).

Für Fahrerassistenzsysteme, die aktiv in die Steuerung des Fahrzeugs eingreifen, spielt die Vorausberechnung des künftigen Kurses des Fahrzeugs (DE 196 35 009 A1) sowie die Abschätzung der nächsten Fahreraktivitäten und -wünsche eine große Rolle (EP 1 688 295 B1). Je genauer diese Größen vorausschauend ermittelt werden, desto besser kann das System den Fahrer in der bevorstehenden Fahrsituation unterstützen. Diese Aspekte wurden bei der Weiterentwicklung der sogenannten „Advanced Driver Assistance Systems“ (ADAS-Systeme) zunehmend berücksichtigt. Solche Systeme integrieren mehrere – auch sicherheitskritische – Funktionalitäten, wie zum Beispiel Abstandsregelung und Spurhaltung (DE 10 2004 026 590 A1) innerhalb eines intelligenten Systems unter direkter Einbeziehung von Fahrer, Fahrzeug und Fahrzeugumgebung in Echtzeit. Mittels der oben genannten Sensordatenfusion, lassen sich derartige „mitdenkende“ Fahrerassistenzsysteme realisieren, die sich an die aktuelle sowie bevorstehende Fahrsituation optimal anpassen können. Neuere Beispiele hierzu sind die Einbeziehung von Informationen über das Höhenprofil des Geländes (DE 10 2005 027 655 A1) oder die ständige Überwachung des Umfelds bei Vorausberechnung des Kurses, um eine Notsituation rechtzeitig automatisch zu erkennen und den Fahrer durch automatische Ausweichmanöver vor einer Kollision zu bewahren (DE 10 2008 040 077 A1).

### 5.3 Verbesserte Schnittstelle zum Fahrer

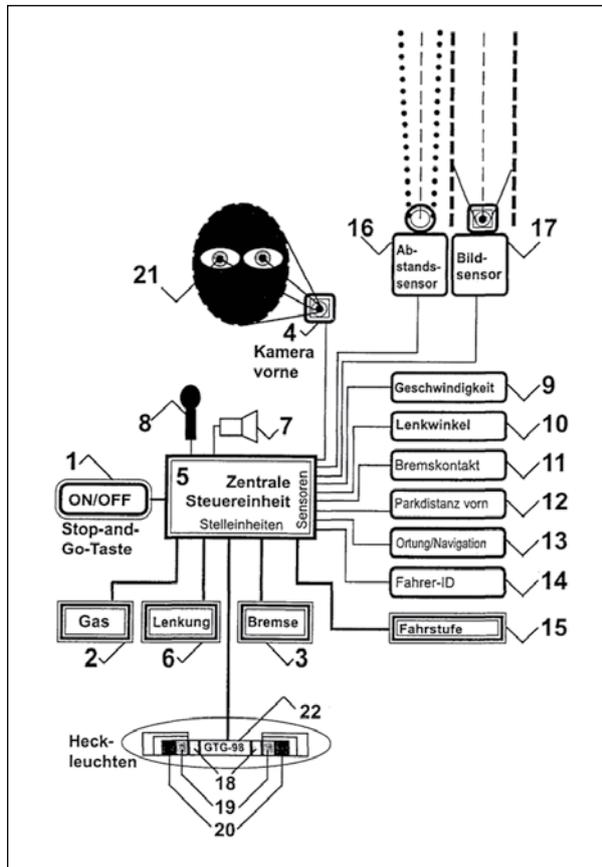
Neben der Funktionalität trägt die Bedienung von Fahrerassistenzsystemen entscheidend zu deren Akzeptanz durch den Fahrer bei. Daher gab es bereits frühzeitig Vorschläge, zusätzlich zu den im Fahrzeug üblichen Bedienelementen wie Lenkrad, Pedale, Hebel und Schalter sowie der Messinstrumente weitere Anzeigeeinrichtungen vorzusehen, insbesondere zur Unterstützung bei schlechter Sicht in der Nacht (US 1 969 852 A, US 2 716 193 A). Mit der Verbreitung der Videotechnik wurde hierbei durch Überlagerung von Video- und Infrarotsignalen eine Verbesserung der Darstellung erzielt (US 5 001 558 A). Um zu vermeiden, dass der Fahrer bei Nutzung derartiger Systeme mit

separatem Display den Blick von der Fahrtrichtung abwenden muss, wurden zunehmend sogenannte „Head-up-Displays“ zur Anzeige eingesetzt (DE 695 06 174 T2). Diese projizieren das Anzeigebild auf die Innenseite der Frontscheibe und ermöglichen somit die Aufnahme der Zusatzinformationen durch den Fahrer bei gleichzeitigem, vorwärts gerichtetem Blick auf die Strasse. Zuvor wurden „Head-up-Displays“ eher als alternative Anzeigeform an Stelle der klassischen Kombiinstrumente betrachtet, also zum Beispiel für die Anzeige der Fahrzeuggeschwindigkeit (US 3 887 273 A, WO 1989/003 059 A2). Zur Verbesserung der vorausschauenden Unterstützung des Fahrers wurden in den Darstellungen Bildelemente mit zusätzlichen Symbolen und Markierungen kombiniert, um den Fahrer damit frühzeitig auf potenzielle Gefahren in der Umgebung aufmerksam zu machen (DE 102 47 563 A1, DE 10 2006 012 773 A1) oder ihn bei der Navigation des Fahrzeugs zu unterstützen (US 2010/0 292 886 A1). Neuere Ansätze auf diesem Gebiet schlagen eine dreidimensionale Darstellung der Informationen mittels Holografie vor (GB 2 461 294 A).

Neben verbesserten Anzeigesystemen wurden auch immer häufiger nicht-visuelle Kommunikationsmechanismen eingesetzt. Erste Ansätze fanden sich beispielsweise in der Nutzung von Sprachausgabe zur Geschwindigkeitsinformation (US 4 135 188 A) und Spracheingabe zur Beeinflussung von Türschließsystemen (EP 0 059 985 A1) sowie zur Geschwindigkeitssteuerung (DE 36 12 691 A1). Haptische Warnsignale durch Lenkrad oder Fahrersitz wurden zunehmend differenzierter verwendet, um dem Fahrer eine genaue Lokalisierung der Gefährdung alleine auf Basis der haptischen Information zu ermöglichen (EP 1 584 901 A1, WO 2005/116 956 A2).

Mit dem Einsatz von Kameras im Innenraum zur Erfassung des Fahrerzustands wurde zudem die Blicksteuerung elektrischer Fahrzeugkomponenten, wie Radio, Klimaanlage, Türen, aber auch der Geschwindigkeitsregelung möglich (US 5 008 946 A). Weitere Vorschläge hierzu waren speziell auf den Betrieb von adaptiven Geschwindigkeitsregelungen im Stop-and-go-Verkehr ausgelegt. Figur 10 zeigt ein Beispiel,

wobei mit der Kamera 4 die Augenbewegungen des Fahrers 21 detektiert werden um den Betrieb einer Geschwindigkeitsregelung zu steuern.



Figur 10: Blicksteuerung einer Geschwindigkeitsregelung mit einer Stop-and-go-Funktion (aus DE 198 38 818 A1).

Eine berührungslose Bedienung in Analogie zu Touchscreens findet sich in neueren Vorschlägen zu Fahrerassistenzsystemen mit „Head-up-Displays“ (DE 10 2009 046 376 A1). Aufgrund der zunehmenden Nutzung von mobilen Geräten wie MP3-Playern, Navigationssystemen oder Smartphones wird dabei deren Integration ins Fahrzeug bereits berücksichtigt.

## 6 Optimierung der Energieeffizienz

Im Nutzfahrzeugbereich war das Thema Energieeffizienz schon immer von großer Bedeutung, da die Treibstoffkosten die Transportkosten in hohem Maße beeinflussen. Zur Optimierung wurden Geschwindigkeitsregelsysteme vorgeschlagen, die auf Basis von Messwerten die Topografie des Geländes voraus-

schauend ermitteln und die Regelung entsprechend abstimmen (DE 38 31 449 C2). Spätere Systeme nutzten hierzu GPS-Daten und Karteninformationen, zum Beispiel auch von Navigationssystemen (DE 103 45 319 A1).

Mit der Verteuerung der Kraftstoffe und der zunehmenden Bedeutung der Elektromobilität, auch in Form von Hybridfahrzeugen, hat das Thema Energieeffizienz mittlerweile auch im Pkw-Bereich einen sehr hohen Stellenwert erreicht. Neuere Systeme zur Optimierung der Energieeffizienz nutzen daher mit Methoden der Schubabschaltung oder des Segelbetriebs den vorhandenen Schwung aus (DE 10 2004 017 115 A1) und führen eine ökonomische Streckenoptimierung im Vorfeld durch, unter Einbeziehung der Geländetopographie und der Verkehrssituation (DE 10 2008 035 944 A1). Hierbei werden diese Informationen des Navigationssystems auch zur automatischen Steuerung der Rekuperation der Fahrzeugbatterie genutzt (DE 10 2009 028 751 A1).

## 7 Ausblick

Mit der flächendeckenden Einführung der Elektromobilität wird Energieeffizienz auch in Zukunft eines der Schlüsselthemen bleiben. In diesem Zusammenhang werden Fahrerassistenzsysteme weiterhin eine wichtige Rolle spielen, da sie den Fahrer bei der optimalen Ausnutzung der verfügbaren Energie wirkungsvoll unterstützen, hierbei jedoch von Routinetätigkeiten entlasten und die Sicherheit im Straßenverkehr gewährleisten.

Gleichzeitig wird das autonome Fahren des Fahrzeugs an Bedeutung gewinnen. Während frühe Ansätze hierzu noch spezielle Einrichtungen an der Straße erforderten (US 2 750 583 A, US 2 996 137 A), übernehmen heutige Fahrerassistenzsysteme bereits das Fahren vollständig für eine begrenzte Zeit, insbesondere in spezifischen Situationen wie einem Notfall (DE 10 2010 001 581 A1, DE 10 2010 022 433 A1, DE 10 2011 015 130 A1).

Im Hinblick auf die zunehmende Individualisierung des Verkehrs bei immer knapper werdenden Ressourcen, könnten in Zukunft weitgehend autonom

arbeitende, verbrauchsoptimierte Fahrzeuge zur Realität gehören. Hierbei dürften die Funktionalitäten der Fahrerassistenzsysteme weiterhin eine entscheidende Rolle spielen, jedoch wohl weniger zur Fahrerassistenz, als vielmehr zum automatischen Fahren des Fahrzeugs.

## Literatur

- [1] TEETOR MEYER, Marjorie: One Man's Vision, The Life of Automotive Pioneer Ralph R. Teetor, Marjorie Meyer, 1995. - ISBN 1878208675
- [2] Saturday Evening Post; Book Review: One Man's Vision The Life of Automotive Pioneer Ralph R. Teetor. 01.09.2004. URL: <http://www.thefreelibrary.com/One+Man's+Vision+The+Life+of+Automotive+Pioneer+Ralph+R.+Teetor.-a0120703058> [abgerufen am 09.03.2012]
- [3] VIEHMANN Sebastian; sueddeutsche.de | Auto & Mobil: Happy Birthday, Cruise Control 23.01.2008. URL: <http://www.sueddeutsche.de/auto/jahre-tempomat-happy-birthday-cruise-control-1.293867> [abgerufen am 09.03.2012]
- [4] Chrysler: Auto-Pilot Brochure. 1958. URL: [http://www.oldcarbrochures.com/static/NA/Chrysler\\_and\\_Imperial/1958\\_Chrysler/1958\\_Chrysler\\_Auto-Pilot\\_Brochure/dirindex.html](http://www.oldcarbrochures.com/static/NA/Chrysler_and_Imperial/1958_Chrysler/1958_Chrysler_Auto-Pilot_Brochure/dirindex.html) [abgerufen am 14.03.2012]
- [5] Marke „Tempomat“ eingetragen: 1975, Registernummer: 932012
- [6] ACKERMANN Fritz: Abstandsregelung mit Radar. In: Spektrum der Wissenschaft, Juni, 1980, S. 24 – 34. - ISSN 0170-2971
- [7] WINNER, Hermann; HAKULI, Stephan; WOLF, Gabriele: Handbuch Fahrerassistenzsysteme. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009. S. 478 – 480. – ISBN 978-3-8348-0287-3

# Getränkehalter in Kraftfahrzeugen – mehr als nur ein Halter für Getränke

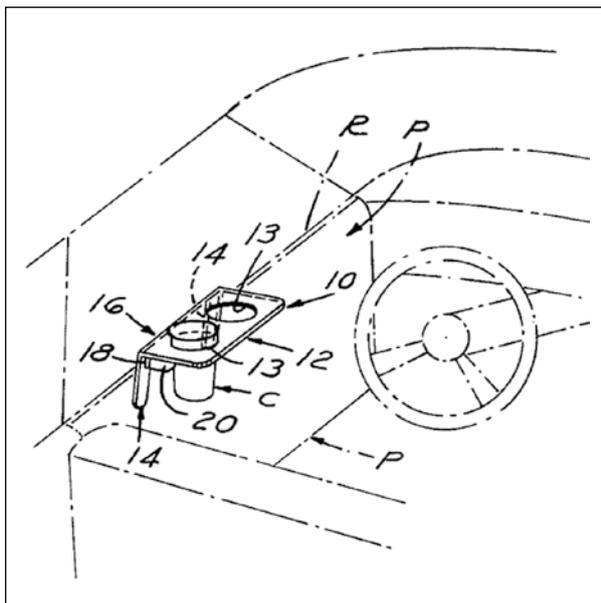
Dipl.-Ing. Christian Kraft, Patentabteilung 1.21

Immer mehr Getränkehalter halten Einzug in die Innenräume von Kraftfahrzeugen. Oft belächelt und als überflüssiger Schnickschnack abgetan, haben sie sich mittlerweile neben Fahrerassistenzprogrammen und Sicherheitssystemen einen festen, nicht mehr wegzudenkenden Platz in nahezu jedem Neuwagen erkämpft. Dadurch haben sich Getränkehalter zu einem auf den ersten Blick zwar nebensächlichen, aber dennoch nicht zu unterschätzenden Kriterium bei der Entscheidung für oder wider den Kauf eines Neuwagens entwickelt.

## 1 Geschichte

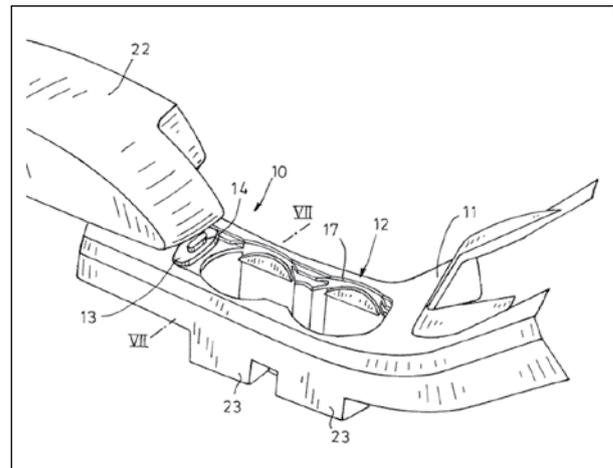
Der Verzehr von Speisen und Getränken im Automobil hat eine lange Tradition. Mit Aufkommen der Drive-In-Restaurants Mitte des letzten Jahrhunderts in den USA entstand mehr und mehr die Nachfrage nach Ablage- und Haltemöglichkeiten für Dosen, Flaschen, Gläser oder Becher innerhalb der Kraftfahrzeuge.

Beispielsweise wurde ein tablettähnliches Brett (10) mit Laschen (14) in den Spalt zwischen Türfenster und Türverkleidung eingehängt (siehe Figur 1). In die beiden kreisförmigen Öffnungen (13) eingesetzte Becher können so sicher gehalten werden.



Figur 1: Getränkehalter (aus US 3 712 235 A).

Anfang der 1980er Jahre tauchten dann auch vermehrt Vertiefungen in den Mittelkonsolen von Neuwagen auf dem europäischen Automobilmarkt auf.



Figur 2: Muldenförmiger Getränkehalter mit Abdeckkrolle (aus DE 10 2007 053 776 A1).

Wurden – oder genauer gesagt, werden – diese Vertiefungen anfangs als Sammelbehälter für diverse Kleinigkeiten missbraucht, so war doch offensichtlich: Es handelt sich um Getränkehalter, auch Cupholder, Becherhalter, Dosenhalter oder Ähnliches genannt.

Und auch wenn es auf dem europäischen Automobilmarkt noch nicht so ausgeprägt ist wie auf dem US-amerikanischen, wo Autos ohne serienmäßige Getränkehalter praktisch unverkäuflich sind, so lässt es sich doch mittlerweile auch kein heimischer Auto-

mobiler Hersteller nehmen, sowohl seine Premium-Fahrzeuge, als auch Kleinwagen mit einer veritablen Anzahl diverser Getränkehalter unterschiedlichster Form, Gestaltung und Design auszustatten [1].

Diese Getränkehalter reichen von ihrer technischen Ausgestaltung von schlichten Mulden in der Mittelkonsole, wie sie beispielsweise die DE 10 2007 053 776 A1 (siehe Figur 2) zeigt, bis hin zu sich aus dem Armaturenbrett entfaltenden kinematischen Kunstwerken, die doch alle denselben einen Zweck erfüllen sollen: die diversen Dosen, Becher, Flaschen oder Tassen durstiger Passagiere während der Fahrt umsturz sicher aufzunehmen und festzuhalten.

Moderne Getränkehalter sind heutzutage in vielen Kraftfahrzeugen ausgeklügelte mechanische Gebilde mit verschiedenen Eigenschaften und Ausführungen: Silikon dämpft die Bewegungen der beweglichen Kunststoffteile beim Aus- und Einfahren. In der Gebrauchs- beziehungsweise Ruheposition verriegeln sich die Halterungen automatisch. Gummierte Einlagen verhindern ein Klappern des eingestellten Getränkebehälters. Heiz- beziehungsweise Kühleinrichtungen sorgen gegebenenfalls für die gewünschte Temperatur der Getränke. Bewegliche Arme oder Klappen bewirken, dass sich der Getränkehalter automatisch dem Durchmesser und der Form des jeweils eingestellten Gefäßes anpasst und dieses fest und wackelfrei fixiert wird [2].

Ob im Armaturenbrett, in der Mittelkonsole oder in der Armlehne untergebracht, wie Schubladen aus Konsolen gleitend, sich in Armlehnen und der Türverkleidung versteckend, frei zugänglich oder mit Blenden oder Deckeln abgedeckt, starr oder beweglich versenkbar und ausfahrbar, Getränkehalter aus lediglich einem Teil oder komplexe mechanische Gebilde aus bis zu 60 Elementen – der Fantasie der Entwickler und Konstrukteure sind hierbei kaum Grenzen gesetzt.

## 2 Problemstellung

Hauptaufgabe eines Getränkehalters in einem Kraftfahrzeug ist die Fähigkeit, unterschiedliche Getränke-

behältergrößen und -formen sicher zu halten, wobei eine stabile Bauweise unabdinglich ist. Großer Wert wird von Fahrzeuglenkern und -insassen darauf gelegt, dass die Getränkehalter einerseits gut zugänglich sind und andererseits bei der Fahrt aber auch nicht stören [3]. Wichtig ist auch, dass sie – so sie beweglich sind – sich zurückziehen beziehungsweise wegfahren lassen, wenn sie nicht benötigt werden. Und als weiteres Kriterium bei der Beurteilung eines Getränkebehälters in Kraftfahrzeugen wird die Ästhetik angeführt beziehungsweise die Besonderheit bei der Bedienung und Benutzung.

Wer einen Käufer in einem Verkaufsraum eines Automobilhauses beobachtet, wird oftmals erleben, dass auch der Getränkehalter in Augenschein genommen wird. Kommt hier ein Aha-Effekt zum Tragen oder besticht der Getränkehalter durch ausgefeilte Motorik und/oder schickes Design, ist das ein kleiner, aber nicht zu unterschätzender Pluspunkt für die Kaufentscheidung [4], [5].

## 3 Vorstellung beispielhafter Patente

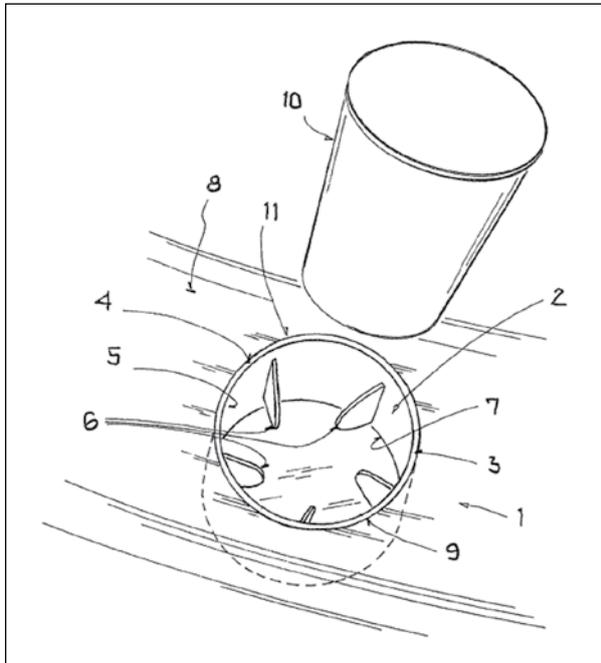
Getränkehalter in Premium- wie auch Kleinwagen lassen sich grob in drei Kategorien gliedern:

- die schlichten Modelle, die lediglich aus einer Mulde zur Aufnahme eines oder zwei Getränkebehältern bestehen;
- die praktischen Modelle, die durch aktive, meist federbelastete bewegliche Bauteile (beispielsweise schwenkbare Durchmesser ausgleichsklappen) den Getränkebehälter sicher festhalten;
- und die ausgeklügelten Modelle, bei denen neben dem praktischen Nutzen auch die Ästhetik eine Rolle spielt.

### 3.1 Die schlichten Ausführungen

In diese Kategorie fallen einfache Vertiefungen beziehungsweise Mulden in der Mittelkonsole oder der Armlehne, die den Getränkebehälter aufnehmen und gegebenenfalls durch elastische Lippen fixieren,

ohne ihn durch aktive bewegliche mechanische Teile zu halten oder zu stützen. Das sind quasi die Ur-Getränkehalter, die dennoch auch noch in Neuwagen der heutigen Zeit zu finden sind.



Figur 3: Halter für Getränkebehälter mit lamellenförmigen Verstellelementen (aus DE 10 2005 003 078 B4).

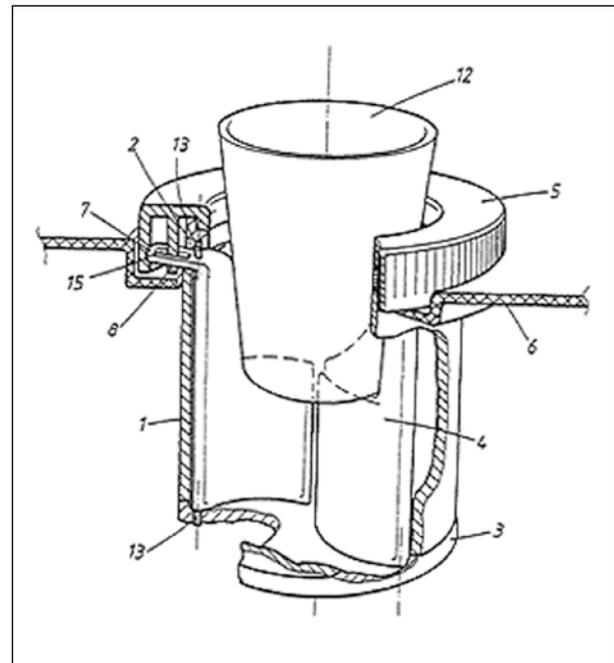
Der Becherhalter 1 besteht aus einem in eine Öffnung 2 im Interieur – beispielsweise im Bereich der Armauflage oder der Mittelkonsole – des Kraftfahrzeugs eingesetztes zylinderförmiges Adapterteil 11. Auf dessen Innenseite 5 der Wandung 3 sind klappenförmige elastische Haltezungen 6 angespritzt, die in radialer Orientierung angeordnet sind. Hierdurch werden eingesetzte Getränkebehälter 10 geklemmt und kipp-sicher gehalten.

Anwendung finden diese relativ einfachen, aber dennoch wirkungsvollen Getränkehalter überall, vom Einbau in Reisebussen und Wohnmobilen bis zur Anordnung in Pkws, hier beispielsweise in der Mittelkonsole oder in den Armlehnen im Fond.

### 3.2 Die praktischen Ausführungen

Im Gegensatz zu den „einfachen“ Getränkehaltern, bei denen die Getränkebehälter in eine schlichte Ver-

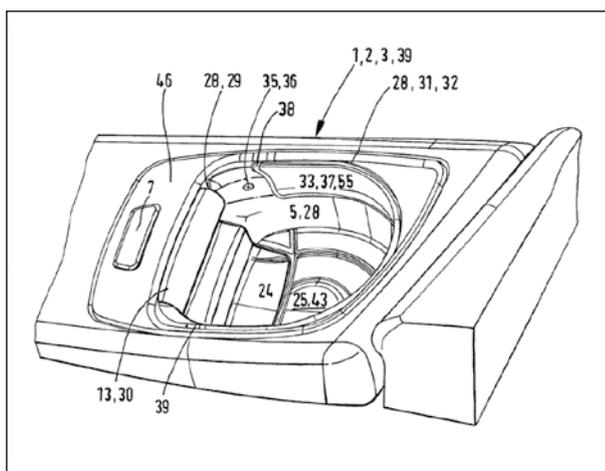
tiefung in der Mittelkonsole oder der Armlehne eingestellt werden, maximal gehalten durch elastische Lippen, sorgen hier aktiv bewegliche Bauteile für ein sicheres Fixieren der eingestellten Getränkebehälter. Als aktiv bewegliche Bauteile dienen Durchmesser- ausgleichsklappen, meist federbelastet.



Figur 4: Halter für Getränkebehälter mit lamellenförmigen Verstellelementen (aus DE 195 46 126 C2).

Die Darstellung nach Figur 4 zeigt eine Möglichkeit des Vorrichtungseinbaus, versenkt beispielsweise in eine Mittelkonsole 6 eines Fahrzeugs. Hierbei wird ein Trinkgefäß 12 durch die ausgeschwenkten Schwenklamellen 4 gesichert abgestellt und gehalten, und zwar durch Verringerung der Schachttiefe und seitlich durch Verringerung des Durchmessers. Große, hohe Getränkebehälter wiederum können durch an die Wandung angelegte Schwenklamellen 4 auf dem Boden 3 des Getränkehalters abgestellt und durch die ausgeschwenkten Schwenklamellen 4 gehalten werden.

Eine andere Problemlösung zeigt die DE 10 2009 022 889 A1. Hier soll eine Vorrichtung geschaffen werden, die einerseits als Ablagefach dient und in der andererseits Getränkebehälter gehalten werden können.

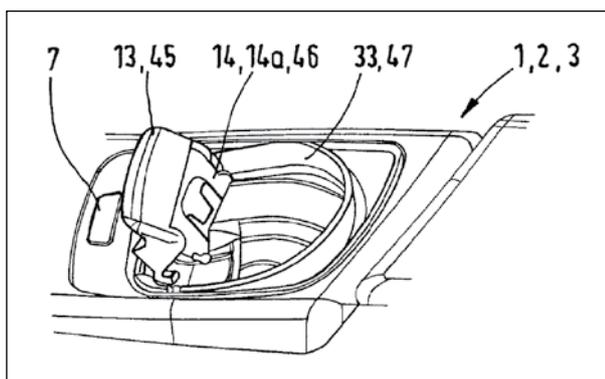


Figur 5: Halter für Getränkebehälter und Ablagefach (aus DE 10 2009 022 889 A1).

Figur 5 zeigt die Vorrichtung in der Funktion zum Ablegen von Gegenständen. Diese weist ein Gehäuse auf, das einen nach oben hin offenen, topfförmigen Aufnahmebereich 5 bildet. Ferner ist an einem vorderen Randbereich des Gehäuses 4 eine Betätigungstaste 7 vorgesehen, die nach einer Druckbetätigung den in Figur 5 dargestellten Halterungs-Hauptanschlag 13 sowie den Halterungsbügel 33 entriegelt.

In Figur 6 ist die Vorrichtung in einer Getränkebehälter-Halterungsfunktion dargestellt, mit einem Halterungs-Hauptanschlag 13 und einem Halterungs-Zusatzanschlag 14 jeweils in einer ausgeschwenkten Position 45 und 46. Ferner ist der Halterungsbügel 33 in seiner nach oben ausgeschwenkten Position 47 angeordnet.

Durchmesserausgleichsklappen, die meist federbelastet werden, dienen dazu, Gefäße kipp sicher zu fixieren.

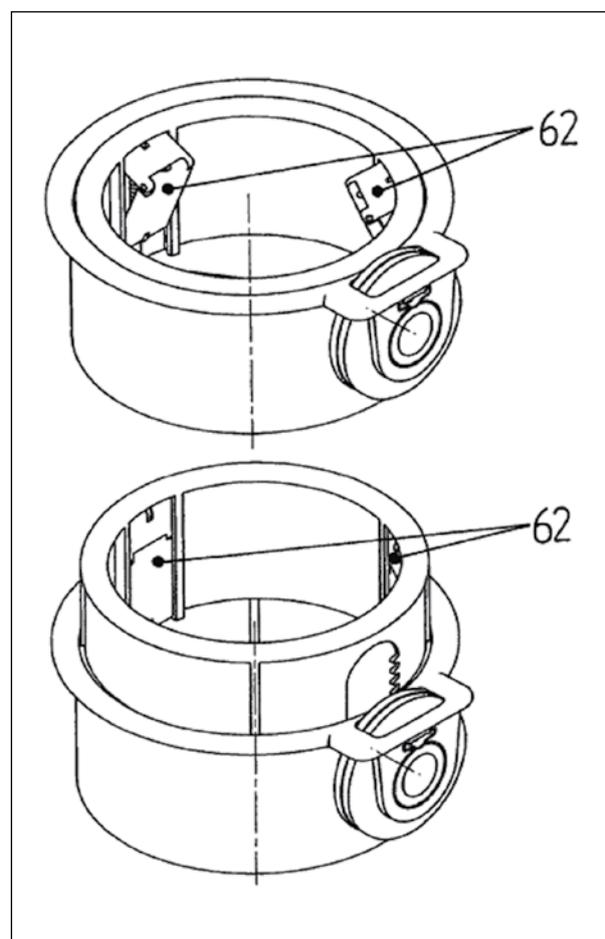


Figur 6: Halter für Getränkebehälter mit ausgeschwenktem Haltebügel (aus DE 10 2009 022 889 A1).

Hierdurch ist es möglich, Getränkebehälter unterschiedlichster Größe, Form und Stabilität zu halten. Dabei werden die Entwickler vor unterschiedliche Probleme gestellt: Die hohe volle schlanke Cola-Flasche aus Glas soll genauso sicher und fest fixiert werden wie der – schon halbleere – „weiche“ Kaffeebecher aus Pappe. Der Anpressdruck der Durchmesser ausgleichsklappen darf also für den Pappbecher nicht zu hoch liegen; andererseits für die Glasflasche auch nicht zu niedrig.

Zudem müssen niedrige Kaffeebecher ebenso sicher gehalten werden wie hohe schlanke PET-Flaschen, das heißt der Konstrukteur muss die unterschiedliche Höhe der jeweiligen Schwerpunkte in die Auslegung der jeweiligen Getränkehalter einbeziehen. Ein Beispiel hierzu zeigt die DE 10 2005 039 266 B4:

Dieser Getränkehalter weist einen Grundkörper und einen Stützkörper auf, denen ein Betätigungselement derart zugeordnet ist, dass die Relativposition zwi-



Figur 7: Halter für Getränkebehälter und Ablagefach (aus DE 10 2005 039 266 B4).

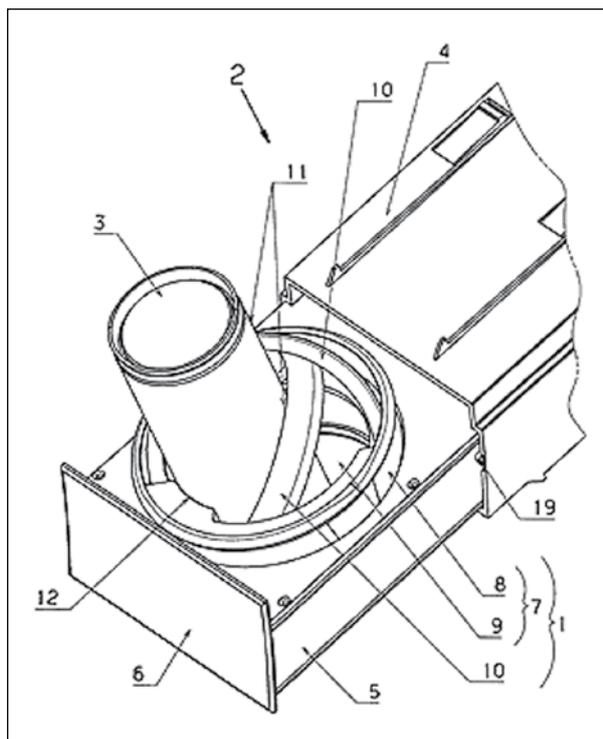
schen dem Grundkörper und dem Stützkörper in Richtung der Mittellängsachse des Grundkörpers veränderbar ist. Hierdurch ergeben sich unterschiedliche Abstützhöhen für Getränkedosen, Trinkflaschen und ähnliche Behältnisse.

Weiterhin sorgen federbelastete schwenkbare Backensegmente 62 an der Mantelfläche des Stützkörpers dafür, dass der freie Querschnitt innerhalb der Mantelfläche veränderbar ist. Somit wird eine Anpassung an Behältnisse unterschiedlicher Durchmesser erreicht.

### 3.3 Die ausgeklügelten Ausführungen

Bei den ausgeklügelten Modellen unter den Getränkehaltern steht natürlich auch der praktische Nutzen im Vordergrund. Jedoch sollen die Getränkehalter zudem durch ihre Ästhetik sowie den Aha-Effekt, den die oft ausgeklügelten mechanischen Motoriken bei der Bedienung und Benutzung hervorrufen, überzeugen.

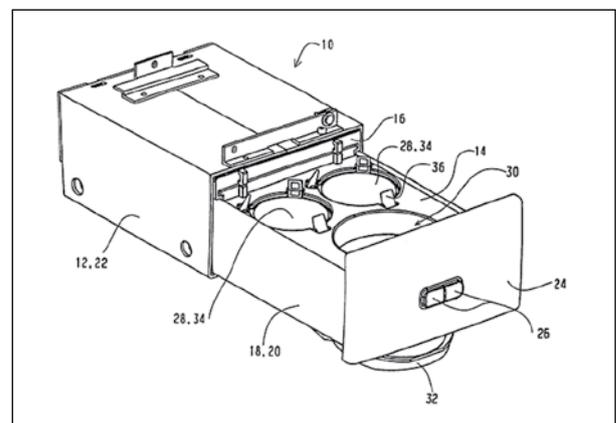
Figur 8 zeigt einen Halter für einen Getränkebehälter, der insbesondere hohen und taillierten Getränkebehältern sicheren Halt gibt und für schubladenartige Haltevorrichtungen geeignet ist.



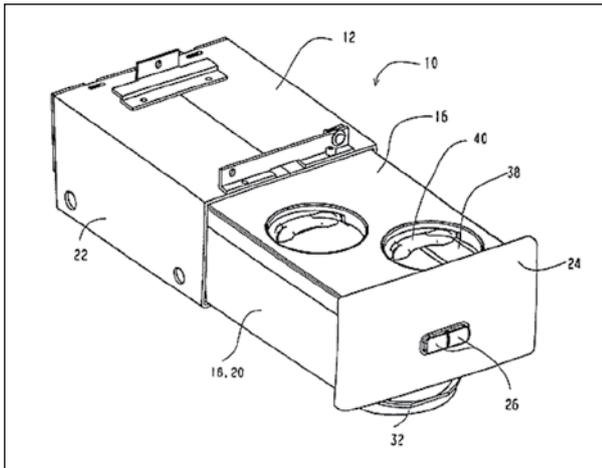
Figur 8: Halter für Getränkebehälter mit schwenkbaren Haltebügeln (aus DE 102 25 068 A1).

Der Halter 1 eignet sich beispielsweise zum Einbau im Bereich des Cockpits eines Kraftfahrzeugs. Der Schlitten 5 kann durch Betätigung der Blende 6 über eine Push-Push-Verriegelung ein- und ausgefahren werden. Der Halter 1 besteht aus einer Behälteraufnahme 7, die durch einen Haltering 8 und den Boden 9 des Schlittens 5 gebildet wird, sowie den beiden halbkreisförmigen Haltebügeln 10. Die Haltebügel 10 sind im oberen Bereich des Halterings um 90° versetzt jeweils an zwei radial gegenüberliegenden Gelenken befestigt. Sie weisen unterschiedliche Radien auf und sind durch Federwirkung aus dem Haltering 8 so verschwenkt, dass sie den Getränkebehälter 3 an den Klemmstellen 11 klemmen. Als Gegenlager dient der Anschlag 12 des Halterings 8 sowie der Boden 9 des Schlittens 5.

Einen Getränkehalter mit variabler Einstellung zeigt die EP 1 300 281 B1 (vergleiche die Figuren 9a und 9b). In einem oberen Bereich des Gehäuses 12 sind zwei wahlweise nutzbare, plattenförmige Auszüge 14, 16 übereinander angeordnet, die sich durch Druck auf wahlweise eine von zwei Tasten 26 in der Blende 24 entriegeln lassen und federbetätigt jeweils zusammen mit dem Schieber 18 in die Gebrauchsstellung ausfahren. Der in Figur 9a in einer ersten Gebrauchsstellung dargestellte Auszug 14 weist zwei Sektglashalter 28 sowie eine kreisrunde Einstellöffnung 30 für eine Sektflasche auf. In einer zweiten Gebrauchsstellung weist der Auszug 16 zwei kreisrunde Einstellöffnungen 38 zum Einstellen von Getränkebehältern wie beispielsweise Dosen, Bechern oder Tassen auf (Figur 9b). Der für die Innenausstattung des Maybachs entwickelte Getränkehalter ist in Figur 10 abgebildet.



Figur 9a: Ausfahrbarer Halter für Getränkebehälter (aus EP 1 300 281 B1).



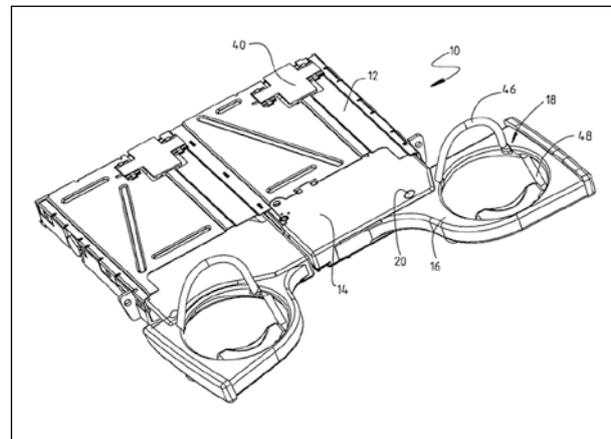
Figur 9b: Ausfahrbarer Halter für Getränkebehälter (aus EP 1 300 281 B1).

Eine spezielle Haltevorrichtung zum Einbau in eine Montageöffnung in einem Armaturenbrett eines Kraftfahrzeugs zeigt Figur 11. Diese Halterung verfügt über einen Schlitten 14, der mittels einer Schiebeführung schubladenartig aus einer eingeschobenen in eine ausgezogene Stellung verstellt werden kann. Der Halter 16 weist eine Einstellöffnung 18 zum Einstellen des Getränkebehälters auf und ist mit einem Schwenkgelenk 20 um 90° zur Seite schwenkbar am Schlitten 14 angebracht. Hierdurch befindet sich der Halter 16 in einer ausgeschwenkten Stellung im Wesentlichen seitlich neben dem Schlitten 14, wo-



Figur 10: Getränkehalter im Maybach 57/62 in der Fond-Mittelkonsole (Foto mit Genehmigung der Daimler AG).

bei der Halter 16 zwei Stützen 46, 48 für einen in den Halter 16 eingestellten Getränkebehälter aufweist. Diese sind schwenkbar am Halter 16 angebracht. Eine der beiden Stützen 46 ist nach oben, die andere Stütze 48 nach unten schwenkbar. Die untere Stütze 48 dient zum Aufstellen des in den Halter 16 eingestellten Getränkebehälters, die andere Stütze 46 stützt den Getränkebehälter seitlich an dessen Umfang ab, zusätzlich zur Schwenklippe. Sowohl die translatorische Bewegung des Schlittens 14 beim Ausfahren als auch die rotatorische Bewegung des Halters 16 beim Verschwenken sowie das Umklappen der Stützen 46 und 48 erfolgen über Zwangssteuerungen.



Figur 11: Halter für Getränkebehälter (aus EP 1 084 904 B1).

#### 4 Fazit und Ausblick

Nach Ansicht von James May, dem britischen Auto-Journalisten, gibt es kaum ein Bauteil in modernen Kraftfahrzeugen, bei dem der Aufwand und der Einfallsreichtum bei der Gestaltung in solch krassem Missverhältnis zum Nutzen und der Wichtigkeit steht wie beim Getränkehalter [6]. Eine von der Firma Fischer automotive systems GmbH im Jahr 2001 in den USA durchgeführte Studie [1] ergab, dass 78% aller Fahrzeuginsassen den Getränkehalter neben seinem ursprünglichen Zweck – Getränkebehälter sicher zu fixieren – auch zur Aufbewahrung anderer Dinge als Getränke wie Wechselgeld, Mobiltelefon, Schlüsselbund, und so weiter nutzen.

Designchef Andreas Wlasak vom Automobil-Zulieferer *Faurecia* glaubt, dass sich die Fahrer von Alltagsautos an ausklappenden und selbst entfaltenden Kunstwerken schnell satt gesehen haben und plädiert für die Rückkehr zu einfachen Lösungen: „Ein Cupholder muss nicht verrückt aussehen und keine mechanischen Zaubertricks aufführen. Er muss nur eines können: das Getränk halten. Und das bitte möglichst fest und flexibel“ [2]. Diese Meinung vertritt auch Andreas Sigloch von der Daimler AG, der ebenfalls die verspielten mechanischen Kunstwerke, die naturgemäß anfälliger sind für Störungen oder Defekte, wieder auf dem Rückzug sieht zugunsten der ursprünglichen einfachen, aber ihren Zweck erfüllenden Ur-Typen – zumindest im Gros der Kraftfahrzeuge [1]. Abschließend eine Antwort aus der von der Firma Fischer automotive systems GmbH durchgeführten Studie [1]:

„Was missfällt Ihnen an Ihren Getränkehaltern?“

Antwort eines Lexus-Fahrers: „Dass ich meine, ich müsste sie benutzen, anstatt mir die Zeit zu nehmen, zuhause oder in einem netten Café eine Tasse Kaffee oder einen kühlen Drink zu genießen!“

### **Nichtpatent-Literaturverzeichnis**

- [1] SIGLOCH A. [et al.]: Innenraum mit hoher Wertanmutung. In: ATZ, 2009, Ausgabe 1. S. 102 – 108. – ISSN 0001-2785
- [2] Cupholder sind für Autofahrer mehr als nur Becherhalter. In N24. 08.02.2008. URL: [http://www.n24.de/news/newsitem\\_282102.html](http://www.n24.de/news/newsitem_282102.html) (abgerufen am 08.03.2012)
- [3] Getränkehalter im Härtetest: Drink and Drive. In Spiegel Online. 20.09.2007. URL: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,506729,00.html> (abgerufen am 08.03.2012)
- [4] Die Go-go-Gourmets. In Spiegel Online. 12.09.2002. URL: <http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,212596,00.html> (abgerufen am 08.03.2012)
- [5] Drink Me - How Americans came to have cup holders in their cars. In: Slate, 15.03.2004. URL: [http://www.slate.com/articles/business\\_and\\_tech/design/2004/03/drink\\_me.html](http://www.slate.com/articles/business_and_tech/design/2004/03/drink_me.html) (abgerufen am 08.03.2012)
- [6] My cup runneth over. In The Telegraph. 19.06.2004. URL: <http://www.telegraph.co.uk/motoring/2728907/My-cup-runneth-over.html> (abgerufen am 08.03.2012)

# Das Cabriolet, ein besonderes Fahrzeug – eine Übersicht

Dr. Andreas Monokroussos, Patentabteilung 1.24

Der uralte Traum des Menschen war, abgesehen vom Fliegen, selber zu fahren. So soll mit diesem Artikel eine Übersicht zu dieser wichtigen und aus den Anfängen des Automobilbaus her stammenden Fahrzeuggattung, der offenen Fahrzeuge – Cabriolets –, gegeben werden. Über eine Kurzdefinition zum Cabriolet und seiner zwei heute noch wesentlichen sportlichen Varianten „Roadster“ und „Spider“, wird außerdem noch ein kurzer historischer Rückblick aufgezeigt.

## 1 Einführung

Offene Fahrzeuge sollen in erster Linie den Fahrspaß des Fahrers ansprechen. Das zeigt sich in wichtigen Punkten, die ein gutes Cabriolet ausmachen soll, nämlich durch Aspekte in Hinsicht auf Komfort und Stärke dargestellt in Schnelligkeit. Ein Cabriolet soll neben Romantik, das heißt einen offenen Kontakt mit der Natur, dem Fahrer den sportlichen Aspekt vermitteln. In den 1920er und 1930er Jahren fuhr man Fahrzeuge, wie einen Morgan, Bugatti, MG, Alfa Romeo oder Porsche offen. Alltagstauglichkeit und Sportlichkeit wurden hier auf einfache Weise kombiniert. Man fuhr zur Rennstrecke mit seinem Auto und montierte dort Kotflügel, Scheinwerfer und anderes ab, und nahm dann an Rennen teil. Heute allerdings meint man im Allgemeinen, wenn der Begriff „Sport“ bei offenen Fahrzeugen benutzt wird, nur noch das „Fahrvergnügen, sich den Wind um die Ohren wehen zu lassen“ [1].

Das Cabriolet entwickelte sich über die Zeit immer mehr zu einem Prestige-Objekt und bekam den Charakter eines Zweitwagens, denn es war nicht unbedingt für den täglichen Gebrauch geeignet und konnte nicht für jeden Zweck eingesetzt werden. Trotzdem ist der Anteil der Cabriolets am Gesamtmarkt für die Hersteller nicht zu vernachlässigen. Insgesamt waren im Jahr 2011 in Deutschland etwa 1,5 Millionen Cabrios zugelassen. Der Großteil wird von Frauen gefahren. Elektronische Hilfsmittel und immer

mehr Komfort haben diese Fahrzeuggattung für Frauen besonders interessant gemacht. So liegt an erster Stelle der Peugeot 206 CC, auf Platz zwei das Golf-Cabrio von Volkswagen und auf Platz drei der SLK von Mercedes-Benz [11].

Außerdem können solche Fahrzeuge, wie kaum ein anderes, den Eindruck von Sportlichkeit, Freiheit und Höherwertigkeit sehr gut in der Gesellschaft vermitteln. Weltberühmt wurden offene Fahrzeuge durch Kinofilme, so der Alfa Romeo 1750 Spider Veloce, der im Film die „Die Reifepfung“ von Dustin Hoffmann gelenkt wurde, das 911-Cabrio von Porsche im Film „Mission Impossible 2“ oder der Z3-Roadster von BMW im Bond-Film „Golden Eye“ [5].

Hier kann dieses sehr umfangreiche Fahrzeuggebiet nur in einigen wichtigen Schwerpunkten vorgestellt und mit Blick auf die anfallenden Patentanmeldungen Entwicklungstendenzen aufgezeigt werden. Der Schwerpunkt liegt auf den Cabriolets mit Stoffverdeck. Auf die mit bewegbaren Blechverdecken (englisch: retractable hardtop) wird dagegen nur verkürzt eingegangen.

## 2 Ein Rückblick

In der Anfangszeit des Automobils wurden fast nur offene Kraftfahrzeuge gebaut, vor allem in der Zeit zwischen 1886 und 1920. Es war technisch viel ein-

facher, einen Aufbau (Wagenkasten) ohne ein Ober- teil anzufertigen, als ein für damalige Verhältnisse aufwendiges Dach zu konzipieren. Bis in die späten 1920er Jahre sparte man so viele Bauteile und insbesondere die aufwendigen Kurbelfenster in den Türen, die für den Bau einer Limousine notwendig waren. Es war günstiger, ein Segeltuch mit einem Verdeckgestänge zu konstruieren und den Türen Aufsteckscheiben zu verleihen, wie zum Beispiel bei einem Opel 4/12 PS (Laubfrosch) oder einem Fiat 500 Torpedo. Geschlossene Varianten gab es auch, aber später und sie waren selten und teuer [1], [8].

Auch schon der Benz-Dreiradwagen aus dem Jahr 1886 war ein offenes Fahrzeug (Figur 1), nicht ein Cabriolet, aber ein Fahrzeug ohne Dach. Unverwechselbare Merkmale waren die großen dünnen Speichenräder, die Blattfederung und eine hohe Fahrerposition [7].

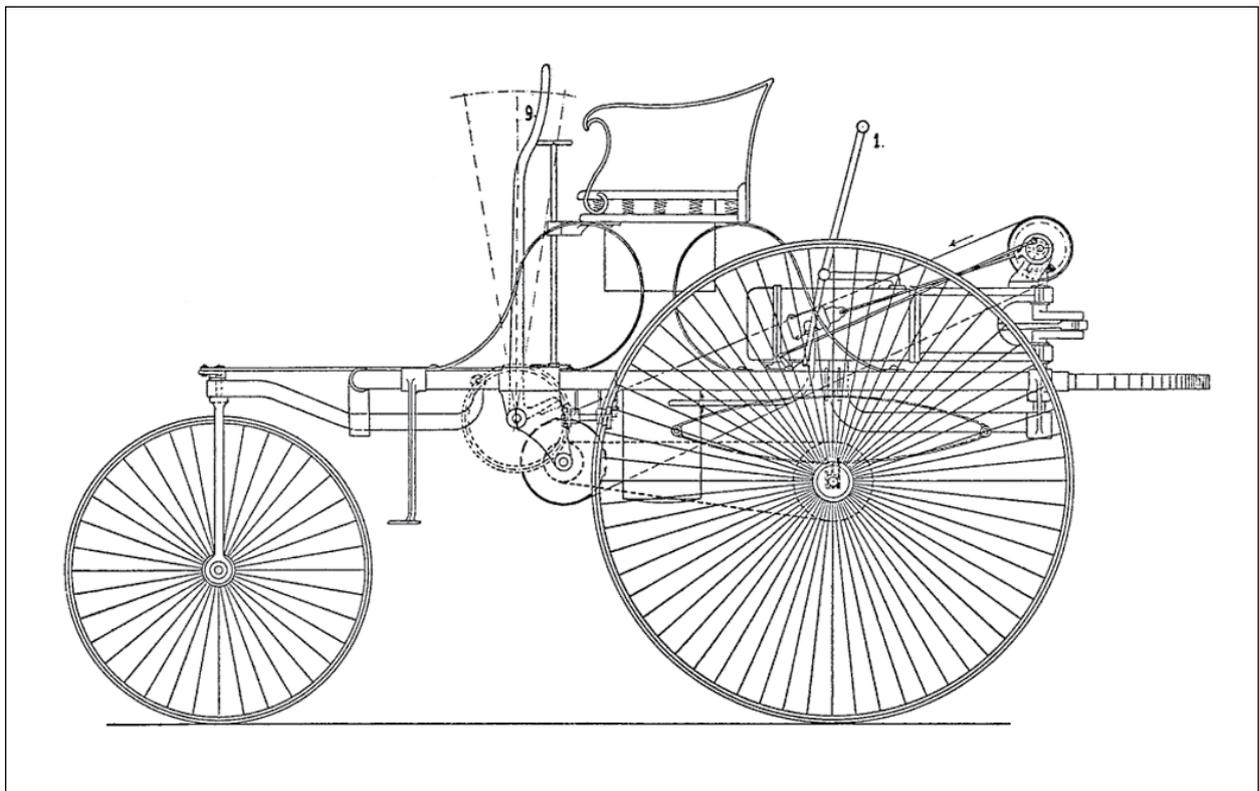
Damals war es nicht ungewöhnlich, bei regnerischem Wetter eher zuhause zu bleiben und Motorwagen-Experimente bei extremen Witterungsverhältnissen zu unterlassen. So war ein Verdeck erstmal überflüssig. Auch wenn alle namhaften Hersteller Cabrioletver-

sionen in ihren entsprechenden Modellreihen angeboten haben, blieben sie stückzahlmäßig gegenüber den Limousinen-Versionen stark zurück. Man war schon glücklich, wenn sich die Motorkutsche bewegte [1]. Zu jener Zeit wurden etwa 25 Benz-Dreirad-Motorwagen hergestellt. Heute gibt es allerdings nur noch drei davon. So steht der in München 1888 vorgeführte Benzwagen im Science Museum in London, der 24. Motorwagen steht im Technischen Museum in Wien und schließlich steht der Motorwagen Nr. 1 im Deutschen Museum [7].

### 3 Das Cabriolet

Das Cabriolet wird heute fälschlicherweise stellvertretend für viele Kraftfahrzeuggattungen, die sich mit einem zu öffnenden Verdeck fahren lassen, gebraucht. Eine Verfeinerung dieses Begriffs soll wichtige Unterschiede aufzeigen.

Das Cabriolet (deutsch: Kabriolett) kommt aus dem Wortstamm „Cabinet“ (deutsch: Kabinett) und bezeichnet einen kleinen Raum, so wie auch das Wort



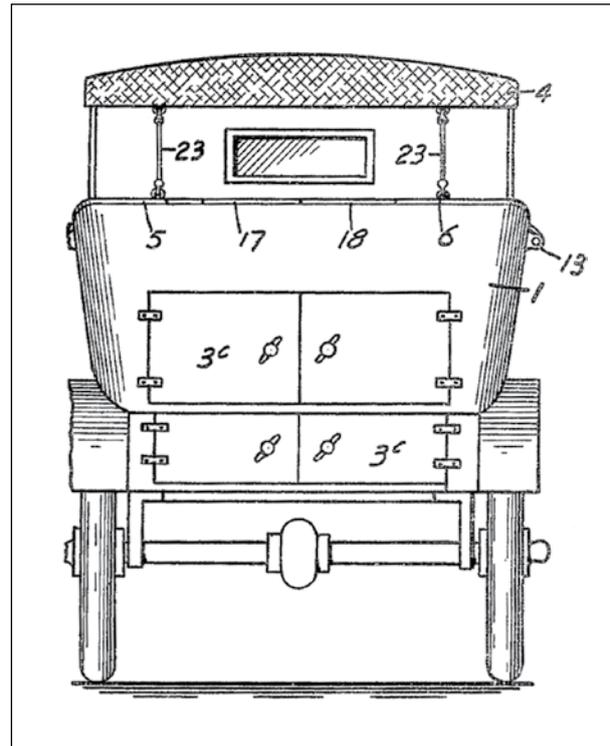
Figur 1: Motorwagen Nr. 1 von Carl Benz aus dem Jahr 1886 (DE 37 435 A).

„Kabine“ (auf einem Schiff) damit zusammenhängt. Ursprünglich kommt das Wort „Cabriolet“ (deutsch: Luftsprünge), aus dem Französischen. Es bedeutet „Capriolen“ machen. Vom zweirädrigen Einspanner erlebte das Wort Cabriolet einen Bedeutungswandel zu einem Automobil mit Klappverdeck, das sich aber nicht durch geringes Gewicht oder Behändigkeit auszeichnete, was aber um so mehr auf die sportlicheren Varianten „Roadster“ oder „Spider“ zutrif. Cabriolets basieren in den meisten Fällen auf der Coupé-Variante einer Fahrzeugbaureihe. Das Cabriolet (Kurzform: Cabrio) hat als wesentliches Kennzeichen ein gefüttertes Verdeck, welches sich über eine oder mehr Sitzreihen spannt und vollständig zurückklappen lässt. Bei den sportlicheren Varianten ist eine Isolierung des Verdecks eher nicht der Fall. Im Amerikanischen ist die übliche Bezeichnung „Convertible“ (deutsch: umwandelbar) und im Französischen wird heute von „Décapotable“ oder „Découvrable“ gesprochen [1]. In Großbritannien wird das amerikanische „Convertible Coupé“ als „Drophead Coupé“ bezeichnet [1], [8]. Erst nach 1900 findet das Automobil zu seiner modernen Form. Das einem Kutschenwagen ähnliche Erscheinungsbild, siehe Figur 2, verschwindet allmählich. Ein Verdeck 4 wird über flexible Bandhalter 23 mit dem Heck verbunden, das hinter der zweiten Sitzreihe beginnt. Ablagefächer werden mit an den Türen 3c angebrachten Anschlägen und Schlössern verriegelt.

Im Laufe der Zeit wurde der Kraftwagen nun immer länger und der Schwerpunkt senkte sich. Mit stärkeren Motoren und damit größerer Geschwindigkeit kam dem Schutz vor Wind und Wetter eine immer größere Bedeutung zu. Das ursprüngliche „Kutschverdeck“ entwickelte sich weiter zu einem robusteren, an höhere Anforderungen angelehntes Verdeck [9].

### 3.1 Die sportlichen Cabrioletvarianten

Neben vielen Sondervarianten, die hauptsächlich während eines bestimmten Zeitraums existierten und nicht mehr gebaut werden, wie der Scaphandre (französischer Tourenwagen mit einer knappen Abdeckung für die Fondpassagiere) oder eine sehr spezi-



Figur 2: Heckansicht eines kutschenähnlichen Automobils um 1913 (US 1 071 348 A).

elle Nische besetzen, wie der Landaulet (Repräsentations- und Herrschaftswagen), werden im Folgenden kurz die beiden sehr eng verwandten Varianten Roadster und Spider vorgestellt, die heute im Wesentlichen die Hauptrolle auf dem Markt spielen [1].

#### 3.1.1 Der Roadster

Der Roadster ist ein offener zweisitziger Sportwagen (früher nur mit Notverdeck) und heute mit einem schlichten zu öffnenden Verdeck und einer sehr einfachen Anmutung. Die früher nur mit Steckfenstern ausgestatteten Türen haben heute Kurbelfenster [10]. Diesem Fahrzeugtyp fehlt meist der Dachhimmel am faltverdeck, so dass die Spriegel, ihre Gurtverbindungen und Anbindungen offen im Innenraum zu sehen sind. Auch fehlen die Sturmstangen im hinteren Verdeckbereich, so dass der Eckspriegel hier die Spannfunktion des Verdecks übernimmt.

Nachdem Mazda den MX-5 (in den Vereinigten Staaten von Amerika auch als Miata bezeichnet) als typi-

schen zweisitzigen Roadster auf den Markt brachte und sein riesiger Erfolg auffiel, traten Konkurrenten mit neuen Modellen in Erscheinung, wie 1994 Alfa mit einem neuen „Spider“-Nachfolger. 1995 folgten dann Fiat mit dem Barchetta, Rover mit dem MG F und außerdem kam 1996 BMW mit dem Z3 sowie Mercedes mit dem SLK und Porsche mit dem Boxter auf den Markt. Schließlich kam dann 1999 noch Audi mit dem TT zu den Kunden [3].

### 3.1.2 Der Spider

Diese Fahrzeugvariante ist eine Sondervariante des Roadsters, nämlich eine Rennsportvariante. Diese hatte ursprünglich gar kein Verdeck. Zu dieser Fahrzeug-Kategorie kamen die zweisitzigen Speedster, die von Auburn, Porsche und Stutz verwendet wurden. Der „Runabout“ war eine amerikanische Form dieser Roadster-Kategorie. Erste Roadster wurden schon im Jahr 1912 von den Hansa-Werken aus Varel in Oldenburg als Sportzweisitzer, wie der Typ A-16 mit 6 oder 16 PS und 65 km/h Höchstgeschwindigkeit, entwickelt. Die englische Marke MG ist für Fans der Inbegriff des klassischen Roadsters. Die ersten dieser Fahrzeuge hatten eine blechummantelte Holzkarosserie. Die Komfortansprüche nahmen über die Jahre immer weiter zu und so kamen Fahrzeuge, wie der BMW-507 (1956) mit schon 150 PS und 220 km/h Höchstgeschwindigkeit auf den Markt, der aber mehr Cabriolet als Roadster war. Andere Fahrzeughersteller blieben der Rennsportvariante treu und brachten berühmte Fahrzeuge wie den Porsche Speedster oder den von Pininfarina entworfenen Lancia Aurelia GT 2500 im Jahre 1955

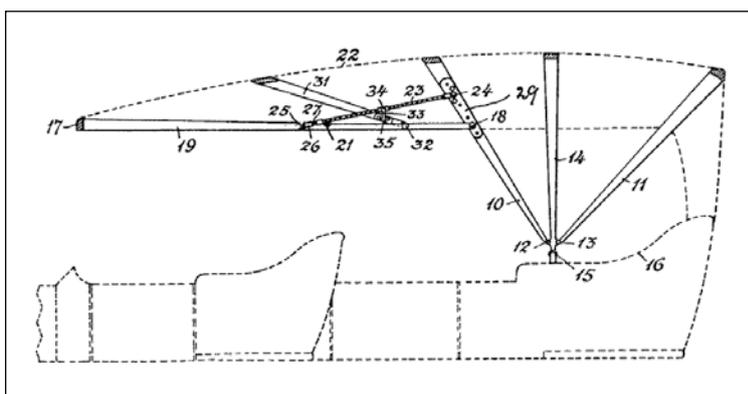
hervor [10]. Heute verwischt die Grenze immer mehr zwischen einem Spider und einem Roadster.

## 4 Das Stoffverdeck

Die ersten Verdecke waren aus Segeltuch mit einem hauptsächlich aus Holz und Metallbeschlägen angefertigtem Gestänge, das von Hand betätigt wurde. Das Dach als sich öffnendes und schließendes Verdeck machte das Besondere aus einem Fahrzeug. Schutz gegen Staub und Regen war schon seit den Anfängen des Fahrzeugbaus, der aus dem Pferdekutschenbau stammt, der Hauptzweck eines faltverdecks [1]. Relativ schnell wurde aber die Notwendigkeit eines Regen- und Staubschutzes erkannt, so dass erste Verdecke aus Segeltuch und einer Stützkonstruktion aus Stangen, Gelenken und Querspriegeln entstanden. So zeigt die Figur 3 eine Stoffverdeckvariante mit einem Stoffverdeck 22, Haltebügeln 17, 10, 14, 11, Zapfen 24, 25 und Streben 23, wie sie typischerweise in den Vereinigten Staaten von Amerika um 1913 gebaut wurde. Der hintere Eckspriegel zum Spannen des Verdecks ist mit einem zentralen karosseriefesten Lager 15 gelenkig verbunden.

## 5 Das Blechklappdach

Ab Mitte der 1990er Jahre wurde verstärkt das Verdeck als zusammenklappbares Metaldach entwickelt. Heute stellt sich allerdings heraus, dass es das Stoffverdeck nicht verdrängt hat, sondern dass es sich eher als eine eigene Verdeckvariante am Markt etabliert hat.

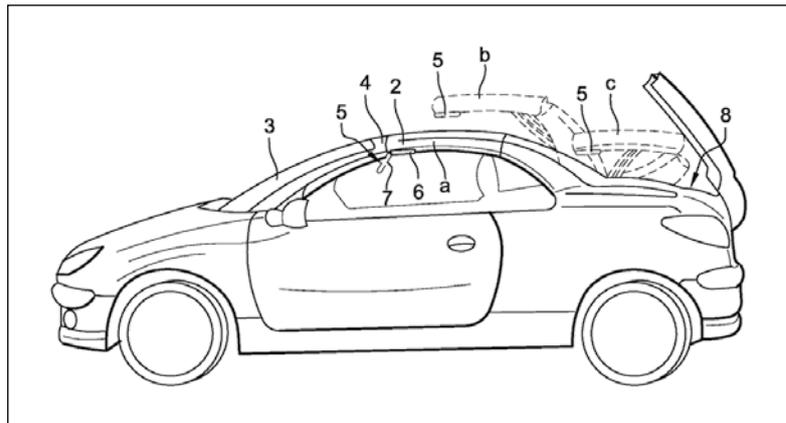


Figur 3: Stoffverdeck um 1913 (DE 304 626 A).

Ein Metallklappdach (englisch: retractable hardtop – RHT) besteht prinzipiell aus zwei oder mehr festen Teilen, die sich über eine Kinematik zusammenlegen, um dann gefaltet in den Kofferraum abgelegt zu werden. Die Vorteile liegen im Bereich des geringeren Verschleißes, einer höheren Sicherheit gegenüber einer mutwilligen Zerstörung (Vandalismus), besserer

Geräuschdämmung und besserer Unempfindlichkeit gegenüber rauen Wetterbedingungen, wie Schnee und Eis im Winter. Andererseits stehen hier auch Nachteile gegenüber, wie der hohe Anschaffungspreis und bedingt durch die unflexiblen Dachelemente auch ein geringeres freies Kofferraumvolumen. Ebenso muss die begrenzte Abdeckung eines Fahrzeuginnenraums hier erwähnt werden, da Gewichtsauswirkungen und Klappvolumen der Dachelemente höhere Anforderungen an die Mechanik der Gestänge und Gelenke setzen, so dass hier Grenzen aufgezeigt werden, insbesondere beim vollständigen Abdecken eines vollwertigen Viersitzers. Lösungen werden hierbei durch Leichtbaumaterialien (Aluminium, Magnesium, Kunststoffe), aber auch durch konstruktive Maßnahmen gesucht, wie zum Beispiel die sehr lange und schräg aufbauende Frontscheibe, wie sie beim Renault Megane CC oder Peugeot 307 CC umgesetzt worden ist. Auch diese Lösung birgt Nachteile, da eine solche Frontscheibe zwar einen guten Schutz gegen Windeinflüsse bietet, aber Puristen das Freiluftgefühl vermissen. Ein aufrechtes Ein- und Aussteigen wird dabei ebenfalls erschwert [8].

Als typische Vertreter dieser Dachvariante können der Peugeot 402 Eclipse Décapotable (1930er-Jahre), der Ford (1950er-Jahre) und der Mercedes SLK (1990er-Jahre) genannt werden, wobei letzterer mit seiner Einführung im Jahre 1996 diese Fahrzeugrichtung neu belebt hat [8]. Schnell haben seitdem zahlreiche Hersteller solch ein metallisches Klappverdeck in ihr Programm aufgenommen (zum Beispiel Peugeot den Vainqueur – 206 CC), wie beispielhaft in der Figur 4 dargestellt wird. Hier wird gezeigt, wie das zweigliedrige Verdeck 2 eines 206 CC in den Kofferraum 8 zurückklappt und dabei der Kofferraumdeckel nach hinten aufschwenkt. In den Vereinigten Staaten von Amerika wurde schon im Jahr 1927 ein ähnliches Konzept von Herrn Ben Ellerbeck vorgestellt, welches aber nie in die Serienproduktion überging [12].

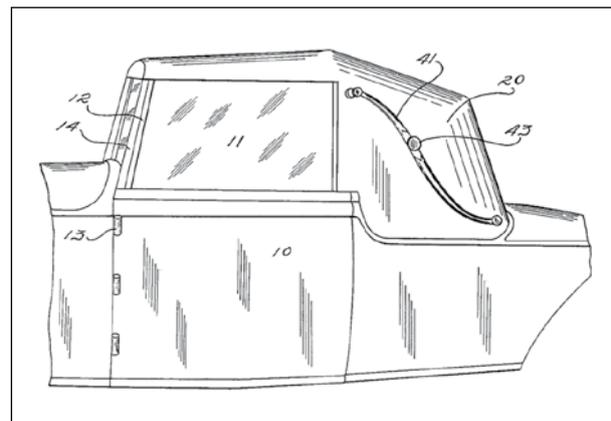


Figur 4: Metallklappdach vom Peugeot 206 CC in seiner Einklappbewegung (FR 2 932 722 A1).

## 6 Die Technikmerkmale des Verdecks

Einige wichtige Begriffe, die sehr spezifisch für das Cabriolet sind und insbesondere das Verdeck kennzeichnen, sollen hier kurz vorgestellt werden. Das Verdeckgestänge: Dieses besteht hauptsächlich aus Halte, Spann- und Verbindungselementen. Das sind Federn, Gelenke, Scharniere, Schienen, Klemmen, Verschlüsse, Bügel, Koppellenker und Hebel [1].

Als Rahmen werden die Teile, die auf den Fenster- und Türkanten aufliegen, bezeichnet. Da das Verdeck symmetrisch zur Mittellängsachse des Fahrzeugs ist, gibt es einen rechten und einen linken Rahmen, die über die quer zur Fahrzeuginnenraumrichtung angebrachten Spriegel (Dachbögen) verbunden sind. Der hinterste Spriegel zum Heck hin wird auch als Eckspriegel (Hauptdachbogen) bezeichnet. Danach fällt in der



Figur 5: Geschwungene Sturmstangen außerhalb des Verdeckbezugs aus dem Jahr 1930 (US 2 000 626 A).

Regel das Verdeck steiler ab, enthält eine Fensterscheibe und mündet an einem Spannbügel, der das Dach bündig mit der Karosserie abschließt. Hinten sind noch die zum Spannen des Verdecks wichtigen Sturmstangen, die in Verbindung mit dem Spannbügel den Verdeckstoff spannen. Die Sturmstangen 41 dienten in frühen Jahren zusätzlich zu ihrer eigentlichen Funktion auch als Dekorationselemente (siehe Figur 5) und wurden sogar verchromt.

Die Sturmstangen wurden später als Stilelement an Fahrzeugen, die gar kein zu öffnendes Dach hatten, außen angebracht. Diese Fahrzeuge wurden „Faux Cabriolets“ (deutsch: falsche Kabrioletts) bezeichnet. Heute fällt so etwas nur noch an amerikanischen Langchassis-Limousinen der Superklasse auf [1].

Die Gestängearchitektur der faltverdecke in den Anfängen des Automobilbaus erinnerte eher an Spinnenbeine. Als typisches Beispiel kann der 1968 gebaute Alfa 1750 Spider Veloce genannt werden, der die unverhüllte, von Hand zu bedienende Mechanik zeigte [4]. In aktuellen Verdecken liegen diese, wie auch alle anderen konstruktiven Elemente des faltverdecks, abgedeckt hinter einem Dachhimmel verborgen. Der Dachhimmel ist selber gepolstert oder verdeckt eine Polster- und Dämmschicht, die den Innenraum gegen Witterungseinflüsse und Schall schützt. Die Aufpolsterung, früher meist aus Roßhaar und heute aus diversen Kunststoffschäumen, nennt man Pikierung. Die seitlichen Rahmenteile halten das Verdeck beim Öffnen und Schließen in der richtigen Position, was über die seitlichen Lenker, die an Scharnieren befestigt sind, geschieht [1].

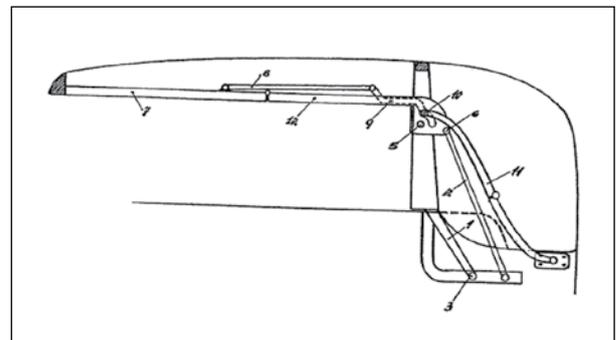
Schließlich muss noch das Verdecklager genannt werden, mit dem die ganze Verdeckkonstruktion an der Karosserie (Wagenkasten) beweglich fest verbunden wird. An diesem Lager befindet sich der Antrieb, der elektrisch oder hydraulisch das Verdeck bewegt [1].

In den Figuren 6 und 7 sind diese wesentlichen Elemente an einem Verdeck aus dem Jahre (1936) und an einem heutigen Standardverdeck (2005) zu erkennen. Unterschiede ergeben sich durch die aufwendige

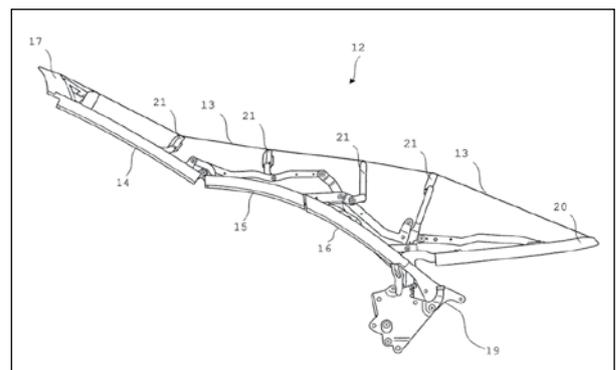
Gestängekonstruktion aktueller Verdecke gegenüber früherer, die dagegen viel einfacher, robuster und schwerer waren. Wesentliche Elemente, wie Sturmstangen, seitliche Rahmenelemente, Lenker und das karosseriefeste Hauptlager sind geblieben.

## 7 Entwicklungstendenzen

Aktuelle Verdecke, wie beispielsweise in Figur 8 dargestellt, bestehen aus leichteren Spriegeln 108, die aber neben der Spannfunktion für den Verdeckstoff 102 weitere Funktionen abdecken sollen; zum Beispiel sollen sie durch eine kanalartige Formgestaltung zur Aufnahme von Polsterelementen befähigt werden und so zusätzlich dem Insassenschutz dienen. Kunststoffartige Befestigungsprofile (Klemmprofile) entlang des Spriegels ermöglichen das einfache und kostengünstige Anbringen sowohl des Außenbezugs als auch eines Innenhimmels am selben Spriegel. Geräuschdämmung und Wärmedämmung sollen den Insassenkomfort erhöhen.



Figur 6: faltverdeck aus dem Jahre 1936 (DE 629 252 A).

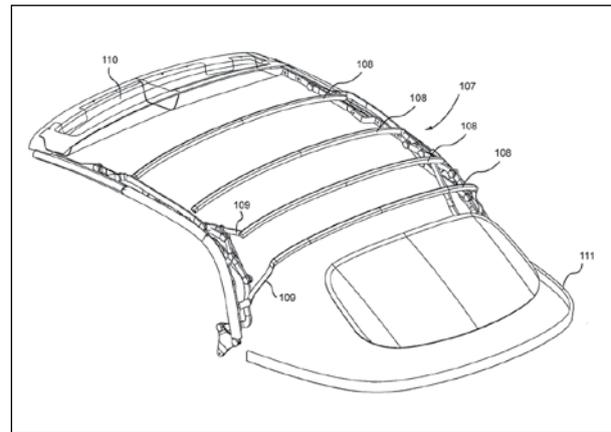


Figur 7: faltverdeck aus dem Jahre 2005 (DE 103 60 326 A1).

Die Stoffverdecke werden auch in Zukunft weiter optimiert werden, indem das Gewicht der Gestänge durch Leichtbaumaterialien (Aluminium, faserverstärkten Kunststoffen und Materialkombinationen) verringert wird. Auch durch eine einfachere Hebelmechanik, die das Verdeck immer raffinierter verstaubar macht, lassen sich Verbesserungen erzielen. Verbundene und nicht verbundene Kopplungen von Gestängen sollen ermöglichen, dass ein Dach durch motorische Antriebe möglichst platzsparend aus- und eingefaltet werden kann. Aufwendige Verschwenkungen von Dachteilen müssen miteinander in einen harmonischen Gesamtprozess gebracht werden. So zeigt Figur 9 ein Verdeck 1, welches die Bewegungsabläufe zwischen dem heckseitigen Spannbügel 14 und dem vorderen Dachteil 5 über Lenker und mittels eines Aktuators ansteuert, so dass eine Kopplung zwischen ihnen entsteht und alle Elemente, wie in einem Programmablauf, vorbestimmte Bewegungen ausführen.

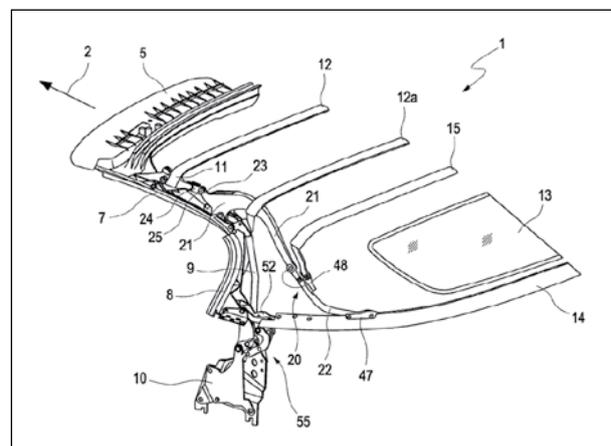
Einen guten Kompromiss zwischen einem möglichst großen Kofferraumvolumen und einem geringen Verdeckstauraum zu finden ist schwer. Ein Stoffverdeck ermöglicht eine kompaktere Faltung und Ablage im Kofferraum, was dazu führt, dass dieses bei offenem Verdeck, noch einen größeren Restkofferraum übrig lässt als ein Klappverdeck mit festen Dachelementen. So wird bei Fahrzeugen, die ein Mittelmotor-Konzept (Anordnung des Motors direkt vor der angetriebenen Hinterachse) verfolgen, bei Sportfahrzeugen und bei viersitzigen Cabriolets auch in Zukunft in erster Linie ein Stoffverdeck vorzusehen sein [2].

Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt ist die Öffnungsgeschwindigkeit des Faltdachs. Schnelles Öffnen ist bei den heute standardmäßig elektrisch oder hydraulisch motorisierten Faltdächern gefordert. Früher nur manuell und teilweise umständlich, mit Kraft und Geduld einfaltbar, werden heute vollautomatische Verdecke angeboten, die im Schnitt Zeiten zwischen 12 und 21 Sekunden zum Öffnen benötigen. Dabei werden unterschiedliche Konzepte verfolgt, ob der Öffnungsvorgang sogar bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h oder eben nur bei Stillstand erfolgen soll [4].



Figur 8: Faltdach aus dem Jahre 2008 (DE 20 2006 018 236 U1).

Zudem stehen Komfortaspekte im Vordergrund. Cabrioletfahrern ist das Phänomen bekannt, dass es bei offenem Verdeck und unmittelbar hinter der Windschutzscheibe fast kaum zieht, aber in Höhe des Halses und Genicks doch starke Windverwirbelungen zu spüren sind. Umso schneller die Fahrt, desto stärker werden diese Verwirbelungen, die sehr unangenehm im Nacken der Passagiere spürbar sind. So mussten sich früher die Fahrzeugpassagiere mit Mänteln und hohen Kragen inklusive Kopfbedeckung davor schützen. Um dieses Problem zu lösen, musste der Innenraum so weit wie möglich abgedeckt werden. So wurde die Neigung der Windschutzscheibe so niedrig wie möglich gewählt, die Seitenscheiben mussten hochgefahren werden und ein Windschott war zwischen oder hinter den Kopfstützen zu platzieren. Beispielhaft seien hier der Renault Megane CC, Peugeot 308 CC und das Audi A3 Cabriolet genannt [1].



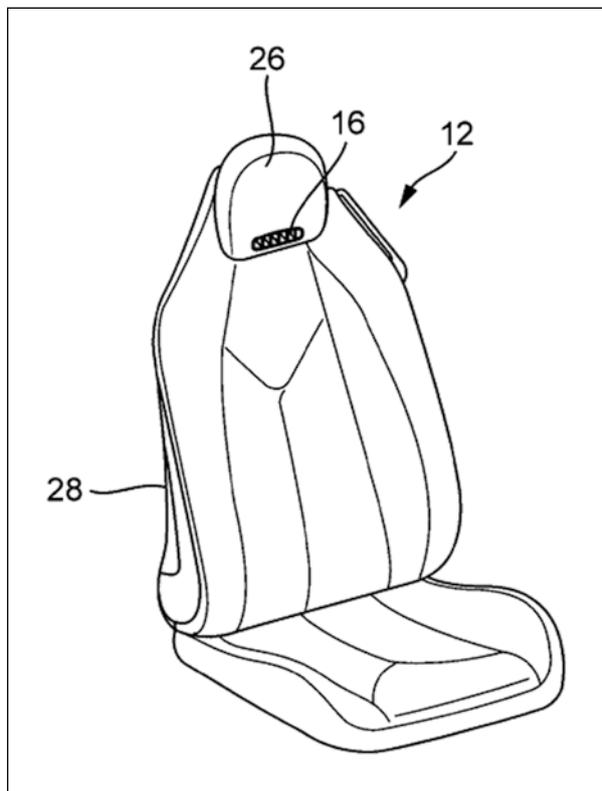
Figur 9: Faltdach aus dem Jahre 2011 (DE 10 2009 055 996 A1).

Auch Entwicklungen in neuerer Zeit, wie das Ausströmen von beheizter Luft in der Nackenregion 16 (ähnlich einem Nackenföhn) bei Fahrzeugsitzen 12 von Daimler (Figur 10) sollen zeigen wie daran gearbeitet wird, einem Auskühlen des Nackens entgegenzuwirken und damit das Komfortempfinden der Insassen zu steigern.

Zusätzlich wird die Wetterbeständigkeit des Verdecks gesteigert, zum einen durch den Einsatz verschiedener Materialschichten im Verdeckbezug selber, was zudem die Akustik und Temperaturübertragung beeinflusst und zum anderen durch Weiterentwicklungen am Material. Eigenschaften, wie Elastizität, Farbtreue, Alterungs- und Scheuerbeständigkeit des Verdecks werden damit erhöht.

## 8 Ausblick

Heute haben fast alle namhaften Fahrzeughersteller ein Cabriolet oder eine sportliche Variante wie den Spider oder den Roadster im Programm. Neben den



Figur 10: Fahrzeugsitz mit Ausströmöffnung im unteren Bereich der Kopfstütze in Nackenhöhe (DE 103 19 146 A1).

schon im vorigen Kapitel genannten Entwicklungstendenzen werden auch ganze Fahrzeugkonzepte, wie in einzelnen Fällen zu sehen ist, gekreuzt. So zum Beispiel kreuzt der Hersteller Ssangyong einen SUV (englisch: Sport Utility Vehicle) mit einem Cabriolet. Solch eine Kreuzverbindung (englisch: crossover) wurde auf dem Genfer Auto Salon 2012 als Konzeptfahrzeug XIV-2 vorgestellt. Als Merkmal seines Stoffverdecks ist zu erkennen, dass es wie ein Rollo zum Heck hin bewegt wird, wobei die Dachholme stehen bleiben. Ein ähnliches Konzept zeigte schon der Fiat 500. Auf das Gestänge wurde hierbei verzichtet, was insbesondere dem Fahrzeuggewicht zugute kam.

Weiterhin zeigt sich, dass der Cabriolet-Typ einen direkten Einfluss auf weitere Fahrzeugkomponenten hat, so wie bei der Entscheidung des Einbaus einer Wandlerautomatik. Der Einbau einer Wandlerautomatik spielt zum Beispiel bei einem Mazda MX-5 Roadster keine Rolle, dagegen aber ist sie ein wichtiges Bauteil in hochpreisigen Roadstern (BMW Z4, Mercedes SLK), da hier der Komfortanspruch des Kunden eine beträchtliche Bedeutung hat. Bei komfortablen Cabriolets und bei offenen Viersitzern (wie der Mercedes E-Klasse) ist die Automatik zu einem unabdingbaren Merkmal geworden [6].

## Literatur

- [1] SCHRADER, H.: Cabrio-Klassiker aus neun Jahrzehnten, 1. Auflage, 2000, Stuttgart, Motorbuchverlag, S. 8 bis 51. - ISBN 3-613-02029-7
- [2] Webasto: 25 Jahre Passion und Leidenschaft für offenes Fahrvergnügen, Das Cabrio. URL: <http://cabrioroadster.blogspot.de/2011/09/webasto-25-jahre-passion-und.html> [recherchiert am 16.03.2012]
- [3] KÖNIG, W.: Luftschlösser, Auto motor und sport; S. 16 – 20, Heft 11, 16. Mai 2001. – ISSN 0005 - 0806
- [4] SCHMIDT, B.: Ich trage einen großen Namen, Auto Bild; S. 84 – 87, und Vergleichstest Roadster, S. 54 – 58, Jan Horn, Heft 16, 08. Mai 2009. – ISSN 0930 - 7095

- [5] KAHL, S.: Autoindustrie fährt auf Filmstars ab, Handelsblatt, Auto, Nachrichten, 06.12.2004. URL: <http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/in-75-prozent-aller-shows-im-amerikanischen-fernsehen-laesst-sich-heute-product-placement-finden-autoindustrie-faehrt-auf-filmstars-ab/2447934.htm> [recherchiert am 17.02.2012]
- [6] Der bessere Kauf, Auto Straßenverkehr, S. 39, Heft 22, 28.09.2011
- [7] Der Motorwagen von Carl Benz, Deutsches Museum, Sammlungen, Auszug aus: „Meisterwerke aus dem Deutschen Museum Band I“, 2004. URL: <http://www.deutsches-museum.de/sammlungen/ausgewaehlte-objekte/meisterwerke-i/motorwagen/> [recherchiert am 27.03.2012]
- [8] Automobilbauart, Karosserie, Cabriolet, Wikipedia. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Cabriolet> [recherchiert am 16.03.2012]
- [9] HARTWICH, O.: Offene Personenwagen von Mercedes-Benz, Mercedes Seite, Geschichte, 19.12.2009. URL: <http://www.mercedes-seite.de/konzern/geschichte/2009/12/offene-personenwagen-von-mercedes-benz/> [recherchiert am 31.01.2012]
- [10] SEIFERT, E.: Fahrvergnuegen pur – Der Roadster, Handelsblatt, Nr. 107, S. s08, 05.06.1987. URL: [http://www.wirtschaftspresse.biz/pshb?FN=relhbi&SFN=buildhbi&GOPAGE=205550,205551&BMC=biz\\_cn\\_detailsuche&BMC=biz\\_cn\\_archiv\\_artikel&DK=12&SH=4c0012b6f65f66f33d676b7b889927](http://www.wirtschaftspresse.biz/pshb?FN=relhbi&SFN=buildhbi&GOPAGE=205550,205551&BMC=biz_cn_detailsuche&BMC=biz_cn_archiv_artikel&DK=12&SH=4c0012b6f65f66f33d676b7b889927) [recherchiert am 13.02.2012]
- [11] Frauen fahren gerne „oben ohne“, Zulassungsstatistik, Handelsblatt.com, 11.03.2011. URL: [http://www.wirtschaftspresse.biz/pshb?fn=relhbi&sfn=buildhbi&GoPage=205550,205551&bmc=biz\\_cn\\_detailsuche&bmc=biz\\_cn\\_archiv\\_artikel&dk=2&SH=4cd722f326c6433b44941f5b88ad80&depot=0](http://www.wirtschaftspresse.biz/pshb?fn=relhbi&sfn=buildhbi&GoPage=205550,205551&bmc=biz_cn_detailsuche&bmc=biz_cn_archiv_artikel&dk=2&SH=4cd722f326c6433b44941f5b88ad80&depot=0) [recherchiert am 13.02.2012]
- [12] Das Cabriolet – Von den Anfängen bis heute, Reizkraft, 01.09.2011. URL: <http://www.reizkraft.com/das-cabriolet-von-den-anf%C3%A4ngen-bis-heute/21158255/prm> [recherchiert am 16.03.2012]





## **Impressum**

### **Herausgeber**

Deutsches Patent- und Markenamt  
Zweibrückenstraße 12  
80331 München

Telefon +49 89 2195-0  
[www.dpma.de](http://www.dpma.de)

### **Stand**

Oktober 2012

ISSN 2193-8180