

Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft

VDA

Verband der
Automobilindustrie





Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft

VDA | Verband der
Automobilindustrie

Vorwort

*Sehr geehrte Damen und Herren,
Liebe Freunde des Automobils,*

Mobilität ist die Grundlage und Voraussetzung für wirtschaftlichen Wohlstand in aller Welt. Unser Ziel ist es, diese nachhaltig und zukunftsfähig zu gestalten. Diesem Anspruch stellen wir uns täglich neu. Neben ökonomischen und sozialen Elementen werden genauso die ökologischen Aspekte der Mobilität in intensiver Arbeit weiter optimiert. Nur eine ganzheitliche Betrachtung sichert die nachhaltige individuelle und bezahlbare Mobilität, auch für nachfolgende Generationen.

Mobilität ist nicht substituierbar. Ohne Warentransport gibt es keinen Handel, keine Produktion und keine Beschäftigung. Zur Sicherung der Mobilität der Zukunft werden alle Verkehrsträger gebraucht – nicht nur, aber natürlich auch die Straße. Insbesondere unser Land als Wiege des Automobils ist durch diese Industrie geprägt. Die Automobilindustrie ist eine der wichtigsten Branchen in Deutschland. Rund zwei Drittel des gesamten deutschen Außenhandelsüberschusses werden von der Automobilindustrie erzielt.

Diese herausragende volkswirtschaftliche Bedeutung begründet Verantwortung, auch und insbesondere beim Umweltschutz. Gerade dort wurde sehr viel erreicht. Trotz deutlich angestiegener Fahrleistung und Zunahme des Fahrzeugparks wurden die Gesamtemissionen des Straßenverkehrs wie zum Beispiel von Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen oder Feinstaub von 1990 bis heute um bis zu 94 Prozent reduziert. Dies ist eine Erfolgsgeschichte, die wir auch beim Klimaschutz fortschreiben werden.

Auch wenn der weltweite Straßenverkehr nur rund zehn Prozent zu den globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen beiträgt, nehmen wir unsere Verantwortung für den Klimaschutz sehr ernst. Unsere freiwillige Selbstverpflichtung zur Kraftstoffersparung haben wir erfolgreich erfüllt. Deshalb verbraucht ein Fahrzeug aus deutscher Produktion heute zwei Liter weniger auf 100 Kilometer als noch 1990. Bereits heute bieten deutsche Marken über 100 Modellreihen an, die weniger als fünf Liter pro 100 Kilometer Kraftstoff benötigen. Wie sehr die deutschen Fahrzeughersteller bei der Reduzierung der CO₂-Emissionen voranschreiten, wird an folgenden Zahlen deutlich: Nachdem 2007 der durchschnittliche CO₂-Wert aller neu zugelassenen Fahrzeuge um 1,7 Prozent zurückging, konnten die CO₂-Werte im vergangenen Jahr insgesamt sogar um 2,9 Prozent gesenkt werden. Dabei erzielten deutsche Hersteller mit –3,1 Prozent einen überproportionalen Rückgang. Ergebnis ist, dass die CO₂-Emissionen des deutschen Straßenverkehrs im Vergleich zu 1990 deutlich zurückgingen. Mit diesem Erfolg steht unser Land unter den westlichen Industrieländern einzigartig da. Seit 1999 verringerten sich die CO₂-Emissionen auf deutschen Straßen sogar um knapp ein Fünftel.



Um auf unserem Weg weiter voranzukommen, ist ein langfristiges und nachhaltiges Energiekonzept erforderlich. Die fossilen Energiequellen sind begrenzt. Wir müssen daher andere, neue Wege finden. Wir wollen Schritt für Schritt unabhängiger vom Öl werden und alternative und umweltfreundlichere Antriebsmedien fortentwickeln. Die Automobilindustrie geht diese Herausforderung aktiv an. Wir setzen auf einen Dreiklang in unserer Fächerstrategie:

- **Einsparen:** Kurz- und mittelfristig soll die Energieeinsparung in Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor noch weiter verstärkt werden.
- **Ergänzen:** Mittel- und langfristig wollen wir die ölbasierten Kraftstoffe durch biogene Kraftstoffe ergänzen und somit ein weiteres Stück unabhängiger von fossilen Kraftstoffen werden. Zu fördern sind insbesondere biogene Kraftstoffe der zweiten Generation, die beinahe CO₂-neutral sind und nicht in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln stehen.
- **Ersetzen:** Langfristig werden weder die Potenziale der biogenen noch der erdölbasierten Kraftstoffe ausreichen, sodass diese durch alternative Antriebe oder kohlenstofffreie Kraftstoffe zu ersetzen sind. Im Fokus stehen hier regenerativ erzeugte Elektrizität und Wasserstoff.

Dabei werden die traditionellen Antriebe Diesel- und Ottomotor auch in den beiden nächsten Jahrzehnten den Schwerpunkt der individuellen Mobilität bilden. Unsere Stärke ist die „Clean Diesel“-Technologie. Diese verbindet die herausragende Effizienz und Fahrleistung des populären Dieselmotors mit einem hohen Umweltschutzniveau. Spaß am Auto und Verantwortung gegenüber unserer Umwelt sind beim Clean Diesel keine Gegensätze mehr. Umweltfreundlichkeit und Komfort werden so zu marktfähigen Kosten möglich.

Zudem werden alternative Antriebe, wie zum Beispiel Gas-, Ethanol- sowie Hybridfahrzeuge, die heute noch Nischenprodukte sind, zu serienreifen Fahrzeugen mit marktfähigen Preisen weiterentwickelt, ebenso wie das immer wichtiger werdende Elektroauto.

Die folgenden Seiten sollen Ihnen einen Einblick in die Strategie der Automobilindustrie und in die weitere Entwicklung moderner Antriebe und Kraftstoffe geben. Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre.

Mit freundlichen Grüßen



Matthias Wissmann
Präsident des Verbandes der Automobilindustrie

Inhalt

Vorwort	3
Zentrale Rolle der Straße – sie bleibt Verkehrsträger Nummer eins	6
Die deutsche Automobilindustrie stellt sich ihrer Verantwortung für die nachhaltige Mobilität	8
Einsparen – Effizienzsteigerung der Automobile	9
Ergänzen – Steigerung des Anteils alternativer Kraftstoffe	9
Ersetzen – Wasserstofftechnik/Elektroantrieb als Ziel	10
Effizienzsteigerung – die erste Stufe „weg vom Öl“	11
Moderne Antriebe	11
Der Ottomotor	11
Der Clean Diesel	12
Weitere Maßnahmen im Antriebsstrang	12
Der Hybrid – eine Brückentechnologie	13
Das Elektroauto	14
Ergänzen – Steigerung des Anteils alternativer Kraftstoffe – die Brücke in die Zukunft	15
Erdgas	15
Autogas	16
GtL	16
Biokraftstoffe	17
Bioerdgas	18
Biokraftstoffe der ersten Generation	18
HVO – hydrierte Pflanzenöle	18
Biokraftstoffe der zweiten Generation	19
Beimischung von Biokraftstoffen	20
Elektrische Energiespeicher	21
Ersetzen – Wasserstofftechnik/Elektroantrieb als Ziel – die Zukunft der Mobilität	22
Das batterieelektrische Fahrzeug	22
Wasserstoff	24
Einsatz der Brennstoffzelle	24
Beibehaltung des Verbrennungsmotors	25
Ausblick – Automobilität für die Zukunft	26
Impressum	28

Zentrale Rolle der Straße – sie bleibt Verkehrsträger Nummer eins

Pkw trägt 80 Prozent der Personenverkehrsleistung

Auch in Zukunft wird der Straßenverkehr der mit Abstand wichtigste Verkehrsträger sein. So sehr es darauf ankommen wird, die verschiedenen Verkehrsträger künftig noch besser miteinander zu verknüpfen und intermodale Transportketten attraktiver zu machen, bietet die Straße als Verkehrsträger flexible Mobilität, die unabhängig von Fahrplänen und Streckenführungen ist. Zudem wird Mobilität mit der Fähigkeit zum Haus-zu-Haus-Verkehr und einer permanenten Verfügbarkeit für viele Transportaufgaben weiter unverzichtbar bleiben.

Der Pkw kommt bei der Personenverkehrsleistung in Deutschland auf einen Anteil von rund 80 Prozent. Dieser Anteil wird sich nach der letzten Verkehrsprognose auch bis 2025 nicht nennenswert verändern. Eine ähnliche Situation ergibt sich für Europa. Gerade in den neuen Mitgliedsstaaten dürfte sich der Anteil des Pkw noch von derzeit etwa 73 Prozent auf ebenfalls rund 80 Prozent erhöhen.

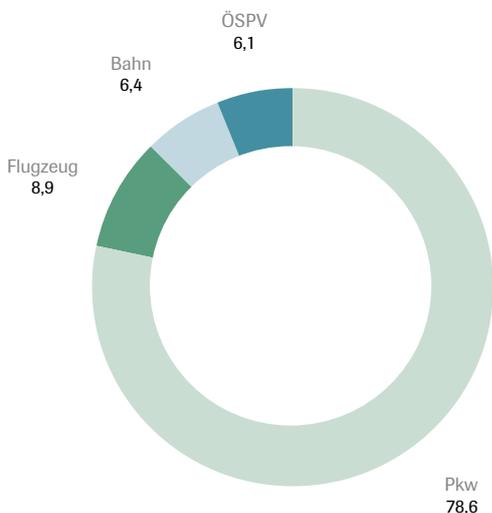
Besonders groß wird das Wachstum in Ländern wie China oder Indien sein, wo Wachstumsraten im Personenverkehr erwartet werden, die die europäischen um das Zwei- bis Dreifache übersteigen.

Lkw trägt 70 Prozent der Güterverkehrsleistung

Auch wenn durch die gesamtwirtschaftliche Entwicklung der Güterverkehr seit Ende 2008 rückläufig ist, so ist langfristig mit einem weiteren Güterverkehrswachstum zu rechnen. Für die Bewältigung dieses Wachstums werden alle Verkehrsträger benötigt, im Besonderen aber der Lkw, der auch im Güterverkehr die Hauptlast trägt. Hier kommt die Straße bei den Landverkehrsträgern in Deutschland wie in Europa insgesamt auf einen Anteil von etwa 70 Prozent.

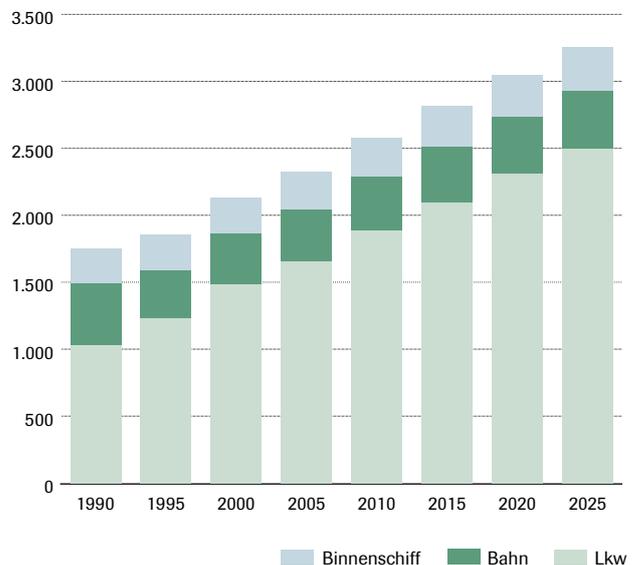
In den neuen EU-Staaten wird der Lkw seinen derzeit noch etwas niedrigeren Anteil weiter ausbauen. Besonders hoch werden auch im Güterverkehr künftig die Wachstumsraten in Schwellenländern wie China und Indien ausfallen.

Personenverkehr in der EU 2025
Anteile in Prozent



Quelle: EU-Kommission

Güterverkehr in der EU bis 2025 in Milliarden Tonnenkilometer



Quelle: EU-Kommission

Wenn die Straße aber auch künftig die zentrale Rolle im Verkehrsgeschehen spielen wird, dann ist es umso wichtiger, dass sie dies möglichst nachhaltig und möglichst kraftstoffeffizient macht, sodass der Straßenverkehr seiner Verantwortung für die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen gerecht werden kann.

Ein Verzicht auf Verkehr und Mobilität würde die Wachstumskräfte der Volkswirtschaften schwächen. Transport und Mobilität sind Grundvoraussetzung für wirtschaftliches Wachstum, die Schaffung von Arbeitsplätzen und die Teilhabe am gesellschaftlichen Leben.

Daneben ist nachhaltige Mobilität auch ein Gebot zur Erhaltung der Versorgungssicherheit und der langfristig steigenden Ölpreise. Der Ansatz „weg vom Öl“ kann auch dazu beitragen, Mobilität für alle Bürger erreichbar und den Gütertransport wirtschaftlich darstellbar zu halten.

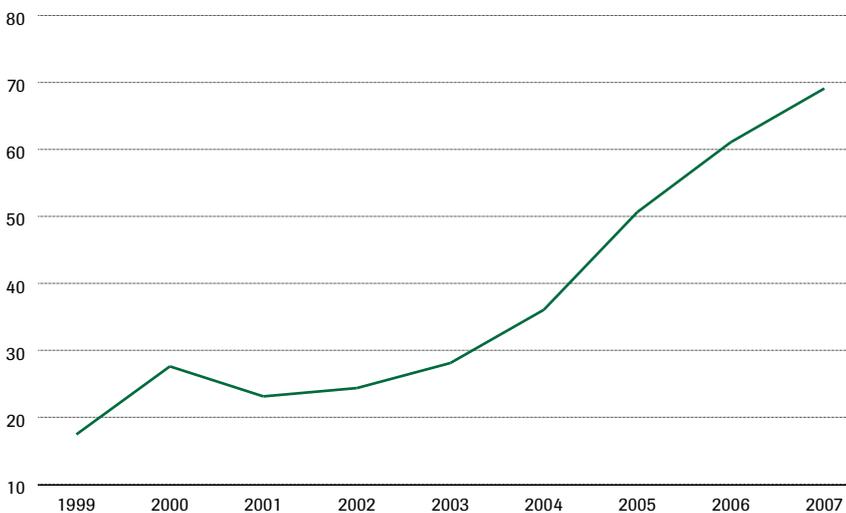
Noch ist es weniger die mengenmäßige Verfügbarkeit von Erdöl, die zum Handeln zwingt, sondern der lange Zeit kontinuierliche Preisanstieg. Die Rohölpreise sind seit Ende der 90er Jahre von gut 10 Dollar je Barrel zwischenzeitlich auf Spitzenpreise von teilweise über 100 Dollar gestiegen. Ursache hierfür ist neben geopolitischen Unsicherheiten und Spekulation vor allem die weltweit steigende Nachfrage nach Öl. Im Zuge der globalen Wirtschaftskrise ist die Ölnachfrage zurückgegangen und der Ölpreis hat im Vergleich zu den Höchstständen vom Sommer 2008 deutlich nachgegeben. Dies dürfte am Langfristtrend aber nichts ändern. Öl ist eine endliche Ressource. Mit ihr muss verantwortungsbewusst im Sinne der Nachhaltigkeit umgegangen werden.

Mobilität ist Basis für Wohlstand

Auch Langfristtrend beim Ölpreis erfordert Handeln

Rohölpreisentwicklung

Jahresdurchschnittswerte in Dollar pro Barrel



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband (MWW)

Die deutsche Automobilindustrie stellt sich ihrer Verantwortung für die nachhaltige Mobilität

Innovationen als Lösungsansatz

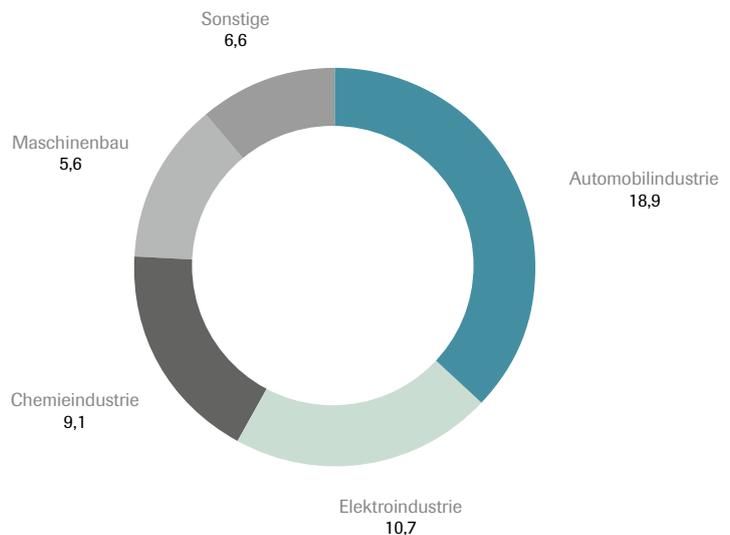
Die Antwort der Automobilindustrie auf die Anforderungen des Klimaschutzes, der Versorgungssicherheit, der steigenden Ölpreise und des Erfordernisses einer bezahlbaren Mobilität heißt, die Anstrengungen zu intensivieren und den Straßenverkehr vom Öl immer unabhängiger zu machen. Das setzt einen hohen Forschungs- und Entwicklungsaufwand voraus. Keine andere Branche investiert so viel in die Zukunft wie die deutsche Automobilindustrie. Mit knapp 19 Milliarden Euro leistet sie mehr als ein Drittel aller Forschungs- und Entwicklungsausgaben des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Darin sind zu einem erheblichen Teil Technologien für Verbrauchsreduktion und die Entwicklung alternativer Antriebe enthalten.

Mehr als 91.000 Mitarbeiter forschen und entwickeln in den Kompetenzzentren der Automobilindustrie und arbeiten so vor allem auch daran, die fahrzeugtechnischen Grundlagen für nachhaltige Mobilität zu schaffen.

Der noch lange Weg „weg vom Öl“ stellt hohe Anforderungen an Innovationen und die Leistungsfähigkeit der Automobilindustrie. Er führt nicht über eine Technik, sondern berücksichtigt alle Alternativen, die zur Senkung von Verbrauch und Emissionen sowie zur Sicherung der Energieversorgung im Verkehr beitragen. Mit dieser Fächerstrategie kann die Abhängigkeit vom Öl reduziert und eine nachhaltige Mobilität erreicht werden.

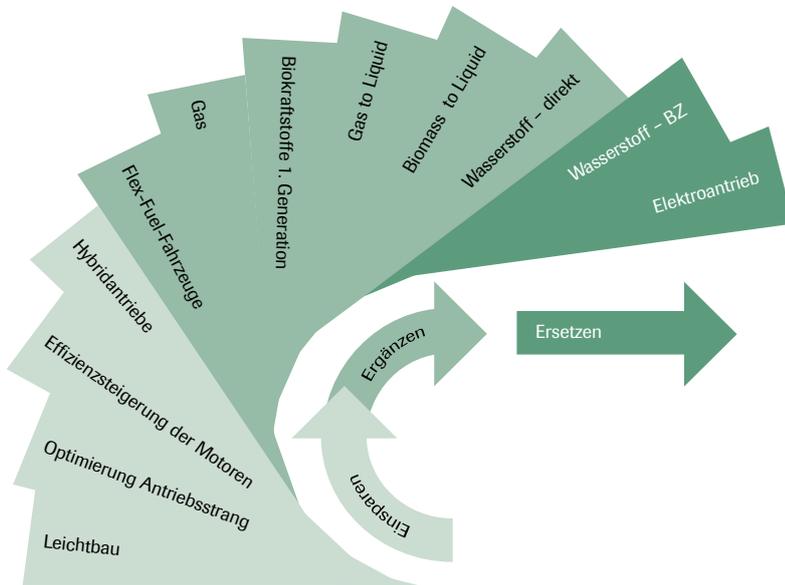
FuE-Aufwendungen der deutschen Industrie 2008

in Milliarden Euro



„Weg vom Öl“

Die Fächerstrategie der deutschen Automobilindustrie



Quelle: VDA

Einsparen – Effizienzsteigerung der Automobile

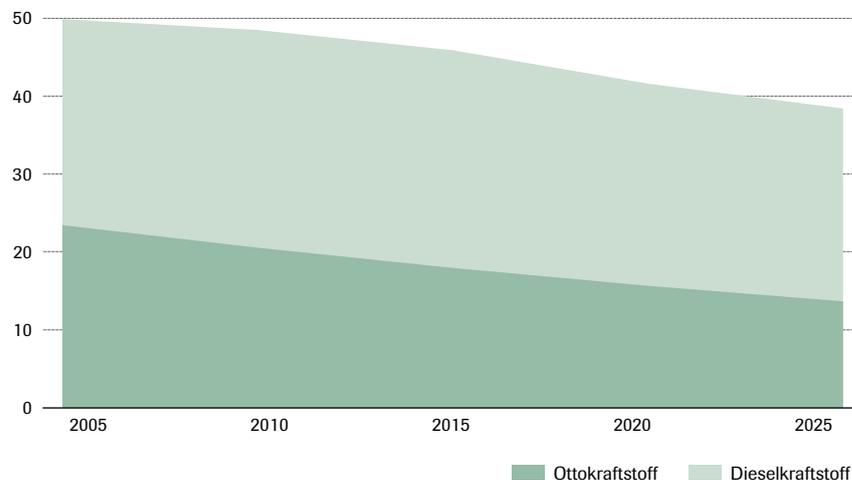
Jedes Prozent Effizienzsteigerung verringert die Abhängigkeit vom Öl. Die Produkte deutscher Hersteller sind schon heute hocheffizient. Dennoch sind mögliche Maßnahmen zur Effizienzsteigerung noch nicht vollständig ausgereizt. Unsere Ingenieure arbeiten an weiteren Optimierungen. Neue Motorengenerationen, forcierter Leichtbau und optimierte Getriebe oder Hybridantriebe werden den Kraftstoffverbrauch weiter mindern. Der sukzessiv verringerte Verbrauch von Diesel- und Ottomotoren zeigt die Ergebnisse der Effizienzsteigerung unserer Fahrzeuge. Trotz steigender Fahrleistungen konnte so eine Verringerung des absoluten Kraftstoffverbrauchs in Deutschland erreicht werden.

Die Einsparung und Effizienzsteigerung ist von besonderer Bedeutung, denn schon heute ist absehbar, dass der Verbrennungsmotor auch in der näheren Zukunft den größten Teil der Mobilität sicherstellen wird.

Ergänzen – Steigerung des Anteils alternativer Kraftstoffe

Ein weiteres Element unserer Strategie ist die Einführung von alternativen Kraftstoffen, wie zum Beispiel Erdgas oder erdgasbasierten flüssigen Kraftstoffen. Andere alternative Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen können die Abhängigkeit von fossilen Kraftstoffen deutlich und nachhaltig senken und haben weitere Vorteile, denn sie sind regenerativ, CO₂- und schadstoffarm. Bereits heute ist Deutschland das Land mit dem höchsten Einsatz von Biodiesel in Europa.

Entwicklung des Kraftstoffabsatzes in Deutschland in Millionen Tonnen



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband (MWW)

Biokraftstoffe, wie Ethanol, BtL (Biomass to Liquid) oder Bioerdgas, werden das Angebot ergänzen und den Anteil der regenerativen Kraftstoffe am Markt weiter erhöhen. Die Biokraftstoffe der zweiten Generation zeichnen sich dadurch aus, dass sie nahezu CO₂-neutral und schadstoffarm sind, einen deutlich höheren Flächenertrag haben und keine unmittelbare Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion darstellen. Zudem kann der Bedarf größtenteils aus europäischer Quelle gedeckt werden. Damit kommen diese Kraftstoffe unserem Ziel umweltfreundlich erzeugter und CO₂-sparender Biokraftstoffe sehr nahe.

Das Potenzial ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Für die Umsetzung brauchen wir jedoch den Schulterschluss mit Mineralölwirtschaft und Politik.

Ersetzen – Wasserstofftechnik/Elektroantrieb als Ziel

Langfristig wird regenerativ gewonnener Wasserstoff, der umwelt- und klimaneutral ist, eine zunehmende Rolle als Energieträger spielen. Wasserstoff wird dann entweder in Brennstoffzellen oder direkt im Verbrennungsmotor eingesetzt.

Das batterieelektrisch betriebene Fahrzeug ist eine weitere Option. Die Elektromobilität wird voraussichtlich zu Beginn des nächsten Jahrzehnts in die Phase der Markteinführung eintreten. Dabei gilt, dass auch hier die Energie regenerativ erzeugt werden muss, damit eine nachhaltige und zukunftsgerichtete Mobilität ermöglicht wird. Das reine Batterie-Elektrofahrzeug wird seinen Einsatzbereich zunächst vorwiegend in der Stadt und im Kurzstreckenbereich finden.

Effizienzsteigerung – die erste Stufe „weg vom Öl“

Moderne Antriebe

Benzin- und Dieselmotoren werden auf absehbare Zeit die Hauptantriebsarten bleiben. Daher steht die Effizienzsteigerung der Antriebssysteme ganz oben im Lastenheft der Entwickler. Die heutige Mobilität muss durch eine effiziente Inanspruchnahme der Ressourcen sichergestellt werden. Es gilt also, umweltfreundliche und effiziente Antriebstechnologien einzusetzen. Zu diesen Technologien zählt neben dem umweltfreundlichen Otto- und Dieselantrieb der Hybridantrieb – eine Kombination aus Elektro- und Verbrennungsmotor. Aber nicht alleine auf den Motor richten sich die Bemühungen der Entwickler, sondern auf das gesamtheitliche Fahrzeugkonzept. Dies schließt das Getriebe ebenso mit ein wie die Effizienzverbesserung für elektrisch oder hydraulisch betriebene Geräte und umfasst letztlich das gesamte Fahrzeugkonzept bis hin zu den Reifen.

Otto- und Dieselmotor bleiben noch länger Hauptantrieb

Der Ottomotor

Beim Ottomotor setzen die Unternehmen auf Downsizing mit Hochaufladung sowie auf die Direkteinspritzung. Ziel ist es, den Motor immer im optimalen Betriebspunkt zu betreiben, um den Ottomotor mit seinem Verbrauch noch näher an den sparsamen Diesel heranzubringen.

Ottomotor ist sauber

Bedingt durch seine hohe Abgasqualität bietet der Ottomotor keinen Anlass mehr für eine umweltpolitische Diskussion. Seine Weiterentwicklung konzentriert sich nun auf die Verbesserung der Effizienz und damit auf die Reduktion der CO₂-Emissionen.

Im Teillastbereich liegen prinzipbedingt die größten Einsparpotenziale des Ottomotors. Dieser Betrieb ist beispielsweise durch den städtischen Stop-and-go-Verkehr geprägt. Dabei kann der Motor selten im Bereich seines geringsten spezifischen Verbrauchs betrieben werden. Das sogenannte Downsizing – beispielsweise durch Aufladung und Hubraumverkleinerung – ist ein vielversprechender Weg, um einen niedrigen Verbrauch zu erzielen.

Gegenüber der konventionellen Saugrohreinspritzung sind durch verschiedene Maßnahmen wie Direkteinspritzung, neue Brennverfahren, variable Ventilsteuerung, Start-Stopp-Systeme, Thermomanagement und Downsizing Verbrauchsverbesserungen möglich, die eine Größenordnung bis zu 25 Prozent erreichen. Die Kombination mit dem Hybridantrieb lässt zusätzliche Einsparungen erwarten. Darüber hinaus werden neue Brennverfahren den Weg zur höheren Effizienz bei gleichzeitig geringen Emissionen ermöglichen.

Ottomotor wird effizienter

Das Entwicklungspotenzial des Ottomotors ist also noch beträchtlich. Wir werden es ausschöpfen. Eine Möglichkeit ist das Verschmelzen beider Motorensysteme zu einem neuen: der homogenen Verbrennung, einem Brennverfahren, das die Betriebsweisen eines Otto- und eines Dieselmotors zusammenführt, sodass ein Motor so sparsam wird wie ein Dieselmotor und so sauber wie ein Ottomotor.

Diesel ist sauber

Der Clean Diesel

Der Clean Diesel wird sowohl weitere Verbesserungen bei der Einspritzung erfahren als auch auf der Abgasnachbehandlungsseite verbessert. Durch NO_x -Speicherkatalysatoren oder SCR-Systeme mit AdBlue kommt er an die Sauberkeit des Ottomotors heran. AdBlue ist eine verdünnte Harnstofflösung als zusätzlicher Betriebsstoff, der zu niedrigsten Stickoxidemissionen führt.

Eine Einhaltung der äußerst stringenten Ziele der Verbrauchseinsparung und CO_2 -Reduzierung wäre ohne den Dieselantrieb nicht denkbar. Darüber hinaus vermag der Diesel aufgrund seiner Drehmoment-Charakteristik bereits bei niedrigen Drehzahlen und über weite Drehzahlbereiche hinweg den Kunden zu begeistern.

Und der Diesel erfährt weitere Optimierungsschritte, denn die kommenden Emissionsanforderungen sollen mit weiteren Verbrauchsoptimierungen einhergehen. Start-Stopp-Systeme, variabler Ventiltrieb, Thermomanagement sowie Downsizing sind auch hier die entscheidenden Schlüsselbegriffe, die enorme Potenziale zur Verringerung des Verbrauchs erwarten lassen.

Diesel ist sparsam

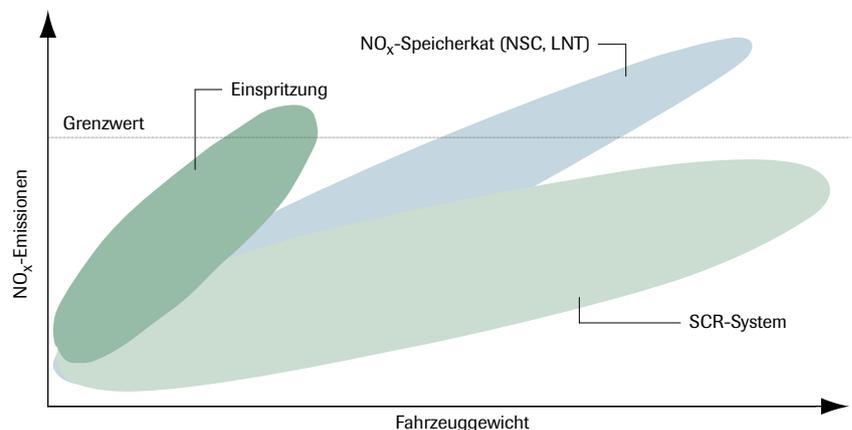
Der klassische Dieselmotor wird durch einen mehr oder weniger großen Luftüberschuss betrieben. Das bedeutet, in die verdichtete Ansaugluft wird zur Regelung des Motors eine gezielte Menge Dieseldieselkraftstoff eingespritzt. Weitere Attribute des modernen Diesels sind optimierte Aufladungskonzepte sowie die Anhebung der Abgasrückführungsrate. Diese Strategien stellen höchste Anforderungen an alle Komponenten des Luft- und des Dieseleinspritzsystems. Extrem kurze Schaltzeiten und hohe Einspritzdrucke sind hier die Stichworte. In der Endstufe kann mit einer Verringerung des Verbrauchs in einer Größenordnung von bis zu 30 Prozent gegenüber dem heutigen aufgeladenen Common-Rail-Motor gerechnet werden.

Damit wird der moderne Diesel noch sauberer und kann gleichzeitig seine Effizienzvorteile noch weiter ausbauen. Der Diesel ist fit für die Zukunft.

Weitere Maßnahmen im Antriebsstrang

Die ganzheitliche Strategie der Effizienzsteigerung umfasst auch die Getriebe. Denn gleich welche Ausprägung das jeweilige Getriebe hat, Zielsetzung ist es auch hier, den Motor im optimalen Bereich zu betreiben.

Motor- und Abgasnachbehandlungstechnologien zur Erreichung von Euro 6



Bedarfsgesteuertes Abrufen von Energie beispielsweise für Nebenaggregate, also Energiemanagement, ist ein wesentlicher Baustein für Verbrauchseffizienz. Start-Stopp-Systeme und die Rückgewinnung von Bremsenergie für die Ladung der Batterie sind ergänzende Maßnahmen, wobei sie einen weiteren Baustein zur Elektrifizierung des Antriebsstranges darstellen.

Der Hybrid – eine Brückentechnologie

Der Hybridantrieb darf als Brücke zur Elektromobilität bezeichnet werden. Er kombiniert in der Regel elektrische Antriebselemente mit einem Otto- oder Dieselmotor. Zielsetzung ist es einerseits, sowohl den hohen Wirkungsgrad des Elektromotors an sich wie auch seine Fähigkeit zur Bremsenergierekuperation zu nutzen. Andererseits kann dadurch der Verbrennungsmotor in seinem möglichst optimalen Bereich betrieben werden – der Kraftstoffverbrauch wird stark verringert. Somit lassen sich insbesondere im Stadtverkehr mit dem hohen Anteil von Stop-and-go-Phasen Kraftstoff und Emissionen einsparen, denn gerade in der Stadt überwiegt der Anteil von niedrigen Fahrgeschwindigkeiten. Bei diesen Betriebszuständen können die für den Verbrennungsmotor ungünstigen Beschleunigungsphasen durch den Elektromotor übernommen oder unterstützt und beim Bremsen kann die Energie zurückgewonnen werden.

Unterschieden wird zwischen den Bauformen Parallel-, Seriell- und Split-Hybrid:

- Beim Parallel-Hybrid ist sowohl Verbrennungs- als auch Elektromotor mit dem Antriebsstrang verbunden. Beide Motoren können das Fahrzeug antreiben, entweder gemeinsam auf einer oder mehreren Achsen oder achsweise getrennt.
- Beim Seriell-Hybrid hingegen haben die beiden Maschinen getrennte Aufgabebereiche. In dieser bei anderen Verkehrsträgern gebräuchlichen Anordnung wird die Leistung des Verbrennungsmotors über einen Generator in elektrische Energie für den Vortrieb umgewandelt.
- Der Splithybrid stellt eine Kombination aus den beiden vorgenannten Bauarten dar. Hier kann die Leistung des Verbrennungsmotors sowohl direkt an den Antrieb als auch an den Generator abgegeben werden.

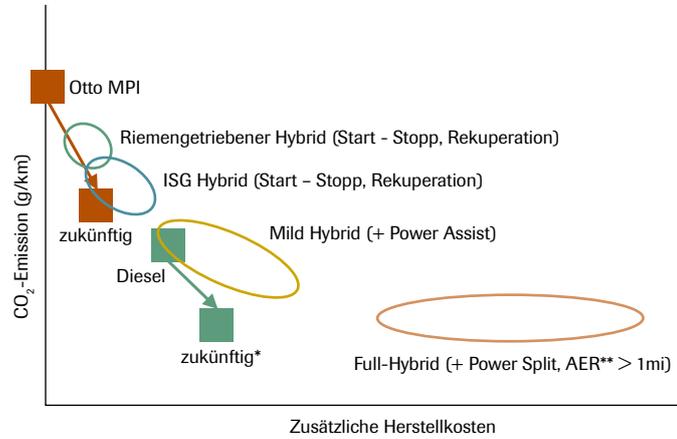
Auch wird zwischen Mild- und Full-Hybrid unterschieden, wobei unter einem sogenannten Full-Hybrid ein Fahrzeug zu verstehen ist, das über längere Strecken in der Lage ist, mit rein elektrischem Antrieb zu fahren.

Allen gemeinsam ist das Grundprinzip der Kombination von zwei Antriebsarten, dem Verbrennungsmotor – Otto oder Diesel – sowie einem oder mehreren Elektromotoren. Hier schließt sich der Kreis zu den konventionellen, verbrennungsmotorischen Antrieben. Hybridantriebe in unterschiedlichster Form, vom Mild- bis hin zum Full-Hybrid sind weitere Schritte in Richtung Elektrifizierung.

Durch den zusätzlichen Bauaufwand ist der Hybridantrieb jedoch deutlich teurer als der konventionelle Antrieb mit einem Verbrennungsmotor. Der zwangsläufig erforderliche elektrische Energiespeicher bringt obendrein zusätzliches Gewicht und zehrt einen Teil der Vorzüge des Hybridantriebs wieder auf. Daher wird immer abzuwägen sein, welcher Antrieb bezogen auf Einsatzprofil und Fahrzeuggröße bzw. Fahrzeugklasse technisch sinnvoll, vom Kunden akzeptiert und einsetzbar ist.

Hybrid ist keine Generallösung

Aufwand-zu-Nutzen-Relation



➔ Vorteile nur bei geringer Hybridisierung

* Annahme: Partikelfiltereinsatz, Verbrauchsreduzierung über Downsizing, Reibungsreduktion ** AER: All Electric Range

Quelle: FEV/VDA

Das Elektroauto

Mit der Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterie werden künftig auch batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge verfügbar sein. Langfristig wird den elektrisch angetriebenen Fahrzeugen eine größere Rolle zukommen. Gleichwohl sind noch einige Fragen und technische Aufgaben zu lösen, um der Elektromobilität zum Durchbruch zu verhelfen. Das Elektrofahrzeug, heute noch als Ergänzung gedacht, ist eine unserer Alternativen für ein langfristiges Ersetzen der bisherigen Kraftstoffe und Antriebe (siehe Kapitel „Ersetzen – Wasserstofftechnik/Elektroantrieb als Ziel“).

Ergänzen – Steigerung des Anteils alternativer Kraftstoffe – die Brücke in die Zukunft



Quelle: WEH/E.ON Ruhrgas AG

Erdgas

Ein fester Bestandteil der Kraftstoffstrategie der deutschen Automobilindustrie ist der Einsatz erdgasbetriebener Fahrzeuge. Diese haben sich in den vergangenen Jahren mit einem stetigen Anstieg der Zulassungen als Antriebsalternative zunehmend am Markt etabliert, bedingt auch durch das günstige Kosten-Nutzen-Verhältnis über einen bis 2018 geltenden ermäßigten Steuersatz. Anfang 2008 waren etwa 70.000 Erdgasfahrzeuge auf Deutschlands Straßen zugelassen.

Zudem entstehen bei Erdgasmotoren im Vergleich zu klassischen Verbrennungsmotoren deutlich weniger Emissionen an Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub. Auch beim Klimaschutz sind Erdgasfahrzeuge meist besser als die vergleichbaren Diesel- und Benzinmodelle.

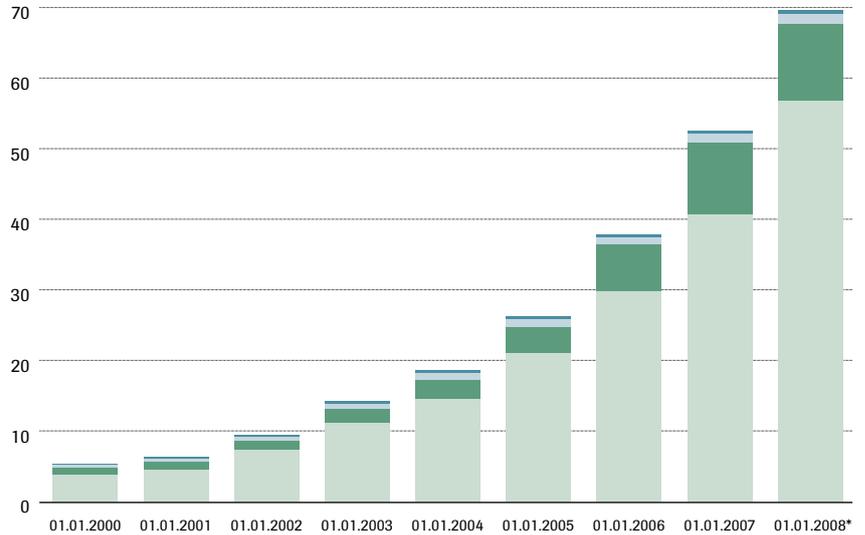
Ein vom ADAC durchgeführter Euro-NCAP-Crashtest belegt zudem die Sicherheit von Erdgasfahrzeugen. Auch bei einem anschließenden Brandversuch des ADAC konnte die Sicherheit von Erdgasfahrzeugen bestätigt werden.

Die Automobilindustrie hat auf die Nachfrage nach Erdgasfahrzeugen mit einer breiten Modellpalette reagiert. Nahezu alle führenden Automobilhersteller bieten Erdgasfahrzeuge an. Das Fahrzeugangebot reicht vom Klein-, Kompakt- und Mittelklassewagen über Oberklasselimosinen bis zu mittleren Nutzfahrzeugen. Vorangetrieben wird auch die Serienreife von Fahrzeugen mit Erdgas-Turbomotoren, die eine neue Dimension des Erdgasfahrens ermöglichen. Mit dieser zweiten Motorengeneration nähern sich Erdgasfahrzeuge technologisch den aufgeladenen Dieselfahrzeugen an. Sie verbinden Fahrdynamik, Sparsamkeit und geringe Emissionen miteinander.

Erdgas ist umweltfreundlich



Bestand an erdgasbetriebenen Kraftfahrzeugen (ohne Krafräder) in Deutschland in 1.000 Einheiten



* Schätzung des Trägerkreises Ergasfahrzeuge

Personenkraftwagen
 Kraftomnibusse
 Lastkraftwagen
 Übrige Kraftfahrzeuge

Quelle: Kraftfahrtbundesamt

Parallel zu den Zulassungszahlen und der Modellpalette hat sich das Erdgastankstellennetz entwickelt. Zum Jahresbeginn 2008 gab es bundesweit 771 Zapfsäulen. Das Ziel der deutschen Gaswirtschaft ist, das Tankstellennetz auf zunächst 1.000 Zapfsäulen auszubauen, von denen in den nächsten zwei Jahren etwa 150 in Autobahnnähe entstehen sollen. Am Ende wird der Autofahrer die Möglichkeit haben, in Städten alle 5 Kilometer, in Mischgebieten alle 10 bis 15 Kilometer und auf dem Land alle 20 bis 25 Kilometer Erdgas zu tanken.

Autogas

Für den Fahrzeugantrieb kann auch ein weiteres Gas, das sogenannte „Autogas/ Flüssiggas/LPG“ eingesetzt werden, ein Nebenprodukt der Erdölförderung und -produktion. Insbesondere in den Niederlanden ist dieses Gas, ein Propan-Butan-Gemisch, weit verbreitet, da es als Koppelprodukt in den dortigen Raffinerien entsteht. Aufgrund der geringeren CO₂-Emissionen ist Autogas bis zum 31. Dezember 2018 gleichfalls steuerermäßigt.

GtL

Eine interessante Alternative ist die Verflüssigung von Erdgas mittels chemischer Synthese. Hierbei wird Erdgas in ein Synthesegas zerlegt und anschließend via Fischer-Tropsch-Synthese in den sogenannten GtL-Kraftstoff („Gas to Liquid“) überführt. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere an Orten, an denen eine wirtschaftliche Verwertung von Erdgas, so wie im Nahen Osten, nur schwer zu erreichen ist.

Interessant ist dieser synthetische Kraftstoff insbesondere aufgrund seiner überragenden Kraftstoffqualitäten: Er ist schwefelfrei, beinahe aromatenfrei und besteht aus homogen verteilten Kohlenwasserstoffketten. Die Unternehmen der deutschen Automobilindustrie nutzen einen solchen Kraftstoff für ihre Forschungsaktivitäten.

Biokraftstoffe

Biokraftstoffe sind ein immer bedeutsamer werdendes Element, um neben der fortgesetzten Effizienzverbesserung die CO₂-Emissionen im Straßenverkehr weiter zu senken. Dies hat die EU-Kommission bewogen, bei ihrem ehrgeizigen Vorhaben, die durchschnittlichen CO₂-Emissionen von Neufahrzeugen in Europa auf 120 Gramm pro Kilometer zu senken, auch einige Gramm CO₂ für Biokraftstoffe mit anzurechnen. Ziel ist es, die Emissionen möglichst kosteneffektiv zu senken, sodass Biokraftstoffe als begleitendes Element in die CO₂-Senkungsstrategie miteinbezogen werden. Dies hat gleichfalls die Bundesregierung aufgenommen und das Biokraftstoffquotengesetz erlassen, das eine schrittweise Steigerung des Biokraftstoffanteils in Deutschland vorsieht.

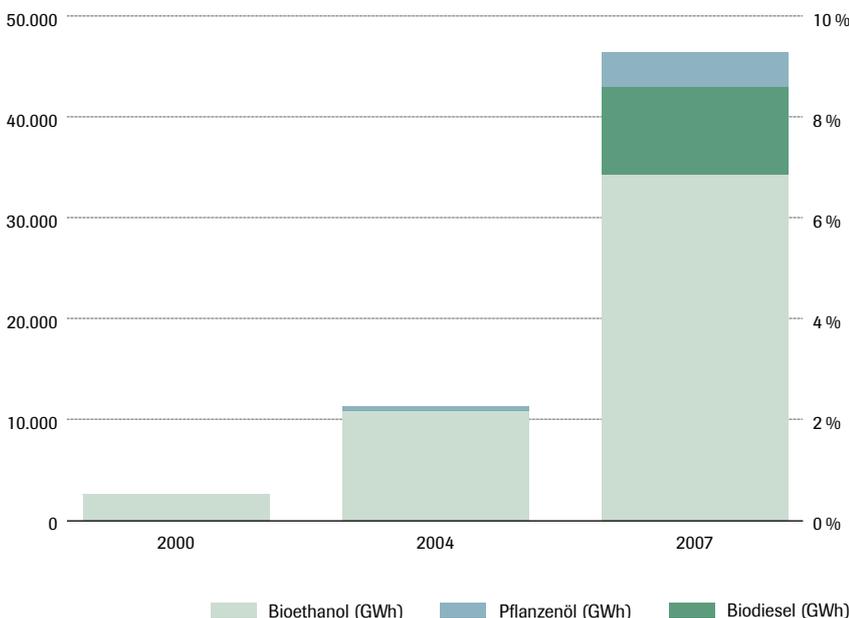
Biokraftstoffe stellen in der Beimischung, sofern sie die entsprechenden Kraftstoffnormen erfüllen, heute eine effektive Möglichkeit dar, die CO₂-Emissionen von Bestandsfahrzeugen zu reduzieren, denn sie wirken unmittelbar und direkt – angefangen beim Neufahrzeug bis hin zum Oldtimer. Fahrzeugtechnische Maßnahmen hingegen wirken nur bei Neufahrzeugen und benötigen eine gewisse Zeit zur Bestandsdurchdringung.

Bis zum Jahr 2000 wurde fast ausschließlich Erdöl zur Kraftstoffbereitstellung verwendet. Von unter 2 Prozent im Jahr 2004 stieg der Marktanteil für Biokraftstoffe bis auf 7,3 Prozent im Jahr 2007. Im Folgejahr war die Biokraftstoffbereitstellung allerdings rückläufig, weil die Anbauflächen von Raps zurückgingen. Der langfristig erreichbare Anteil von nachhaltigen Biokraftstoffen am Kraftstoffverbrauch liegt bei 17 Prozent.

Für die Automobilindustrie ist bei aller Euphorie unabdingbar, dass alle Biokraftstoffe mit der im Feld vorhandenen Fahrzeugtechnik kompatibel sind, den anerkannten Nachhaltigkeitskriterien genügen und auch die Standards der Internationalen Arbeitsorganisation ILO, einer Sonderorganisation der Vereinten Nationen, einhalten.

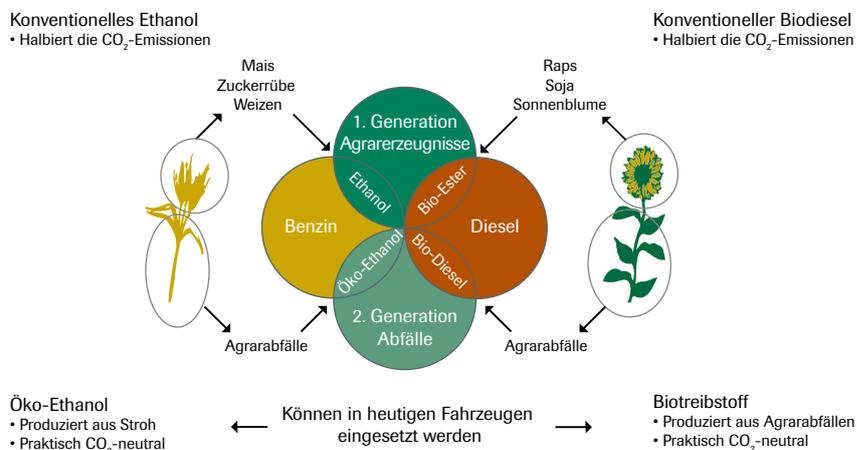
Biokraftstoffe als Beimischung

Kraftstoffbereitstellung (Endenergie) aus erneuerbaren Energien in Deutschland



Quelle: BMU auf Basis AGEE-Statistik

Biokraftstoffe der ersten und zweiten Generation



Bioerdgas

Biokraftstoffe können nicht nur die flüssigen fossilen Kraftstoffe Diesel und Benzin, sondern auch gasförmige Kraftstoffe ersetzen. Bioerdgas stellt ein ökologisch sinnvolles Substitut für fossiles Erdgas dar. Bioerdgas ist ein auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas und entspricht der Qualitätsnorm DIN 51624. Damit kann Bioerdgas an jeder beliebigen Stelle in das existierende Erdgasnetz eingespeist werden.

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) bestätigt für Bioerdgas ein CO₂-Einsparpotenzial von 80 Prozent. Damit ist Bioerdgas einer der ökologischsten Biokraftstoffe. Diese positiven Eigenschaften und Chancen von Erdgas hat die Bundesregierung bewogen, in der Novellierung des Biokraftstoffquotengesetzes die Anrechnung von Bioerdgas auf die Biokraftstoffquote zuzulassen.

Biokraftstoffe der ersten Generation

Die heute großflächig am Markt verfügbaren flüssigen Biokraftstoffe sind solche der ersten Generation, also Biodiesel und Bioethanol. Von diesen wurden in Deutschland im Jahr 2007 insgesamt 3,8 Milliarden Liter Biodiesel und 570 Millionen Liter Ethanol abgesetzt. In der Summe wurde in Deutschland damit eine Biokraftstoffquote von knapp 7 Prozent erzielt.

HVO – hydrierte Pflanzenöle

Um Beimischungen zu erreichen, die einen substanziellen Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emission und somit zur nachhaltigen Mobilität liefern, werden Biokraftstoffe benötigt, die konventionellem Kraftstoff auch in höheren Mengen zugesetzt werden können. Für Biodiesel der ersten Generation bzw. FAME (Fettsäuremethylester) gilt jedoch, dass eine Beimischung in höheren Dosen technische Probleme bereiten kann. Deshalb ist ein vielversprechender Lösungsansatz für eine fortschrittliche Biokomponente im Dieselbereich die Nutzung von hydrierten Pflanzenölen (Hydrotreated Vegetable Oil, kurz: HVO).

HVO sind vielfältig einsetzbar

Gegenüber bisher verwendeten Biodiesel-Beimischungen der ersten Generation bieten die hydrierten Pflanzenöle den entscheidenden Vorteil, dass durch die gute Verträglichkeit mit allen Motorkomponenten auch der vorhandene Fahrzeugbestand kurzfristig auf Kraftstoffe mit deutlich höherem regenerativen Kraftstoffanteil umgestellt werden kann. Ebenso hat der Kraftstoff gegenüber herkömmlichem Biodiesel einen deutlich höheren Energiegehalt und ein höheres CO₂-Vermeidungspotenzial – vorausgesetzt, dass ausreichend zertifiziertes Pflanzenöl aus nachhaltiger Produktion zur Verfügung steht.



BtL-Produktionsanlage (Quelle: CHOREN Industries GmbH)

Bei der Verbrennung eines aus hydrierten Pflanzenölen hergestellten Dieselmotorkraftstoffs werden deutlich weniger Emissionen ausgestoßen als bei herkömmlichem Diesel. So sinken zum Beispiel die Stickstoffemissionen um bis zu 15 Prozent. Ebenso zeigt der Feldtest, dass der eingesetzte Kraftstoff sehr gut mit Dieselmotoren verträglich ist.

Biokraftstoffe der zweiten Generation

Biokraftstoffe der zweiten Generation reduzieren die CO₂-Emissionen um bis zu 90 Prozent. Hingegen wird bei den heutigen Biokraftstoffen ein Reduktionspotenzial von circa 50 Prozent erreicht. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass ein mit BtL betriebenes Fahrzeug fünfmal geringere CO₂-Emissionen aufweist als ein Auto, das mit Biodiesel betrieben wird. Dieser Faktor steigert sich sogar auf 10 gegenüber einem Kraftstoff aus Erdöl. Insbesondere die Biokraftstoffe BtL und Lignocellulose-Ethanol weisen sehr gute CO₂- und Kraftstoffeigenschaften auf und werden eine Schlüsselrolle bei der Erfüllung der langfristigen Biokraftstoffziele spielen.

Biokraftstoffe der zweiten Generation können auch aus biologischen Reststoffen wie zum Beispiel Altholz oder Stroh gewonnen werden. Damit können aus heutiger Sicht nur diese neuen Biokraftstoffe die Diskussion um „Kraftstoffe gegen Nahrungsmittel“ vollständig beenden und vermeiden damit ebenso wie HVO die potenzielle Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion.

Aus diesem Grund engagiert sich die deutsche Automobilindustrie aktiv bei der Entwicklung und Einführung dieser Technologien. Deutlich wird dies zum Beispiel in dem Joint Venture der Firmen CHOREN, Shell, Daimler und Volkswagen zur Produktion von BtL.

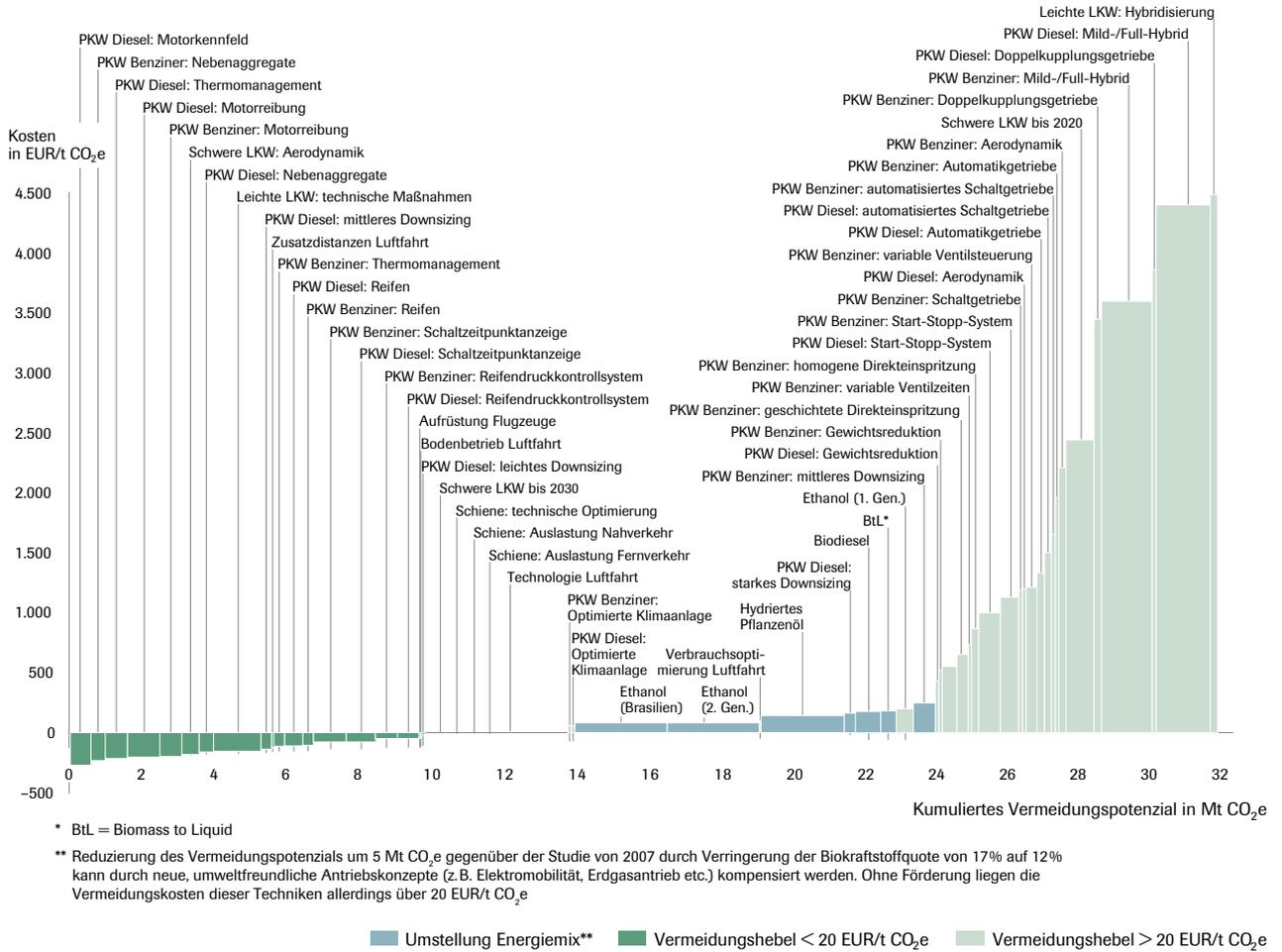
Am 17. April 2008 wurde die weltweit erste kommerzielle Anlage zur Erzeugung eines synthetischen Biokraftstoffs unter Beisein der Bundeskanzlerin eingeweiht. Die Jahreskapazität dieser Anlage beträgt 15 Millionen Liter BtL; das entspricht dem Jahresbedarf von ungefähr 15.000 Pkw. Dies ist ein wichtiger Schritt hin zu einer großindustriellen BtL-Produktion.

Biokraftstoffe der zweiten Generation haben laut einer BDI-Studie trotz des höheren Literpreises ein sehr hohes und kosteneffektives Potenzial auch gegenüber den heutigen Biokraftstoffen. Es zeigt sich, dass Biokraftstoffe oftmals die günstigere CO₂-Vermeidungstechnologie sind und geringere CO₂-Vermeidungskosten aufweisen als aufwendige fahrzeugtechnische Maßnahmen, wie zum Beispiel die Hybridisierung der Fahrzeuge.

Biokraftstoffe der zweiten Generation bieten eine hervorragende CO₂-Bilanz ohne Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion

Transportsektor: Vermeidungskostenkurve – Deutschland 2020

Basisszenario 2008 für 2020 / Entscheiderperspektive



Quelle: BDI, McKinsey

Der entscheidende Stellhebel für die Verbreitung von hochwertigen Biokraftstoffen der zweiten Generation und deren schnelle Verfügbarkeit in größeren Mengen ist die Zusammenarbeit von Wirtschaft und Politik. Die Politik kann durch das Setzen von Rahmenbedingungen notwendige Impulse liefern, um die Forschung, Entwicklung und Nutzung dieser vielversprechenden Kraftstoffe zügig voranzutreiben. Um dieser neuen Technologie die notwendige Planungssicherheit zu geben, fordert die deutsche Automobilindustrie die Verlängerung der Steuerbefreiung dieser besonders förderungswürdigen Biokraftstoffe bis zum Jahr 2020.

Beimischung von Biokraftstoffen

Um die festgelegten Kraftstoffquoten ab dem Jahr 2009 zu erfüllen, ist es erforderlich, den heute auf fünf Volumenprozent begrenzten Beimischungsanteil im konventionellen Kraftstoff zu erhöhen. Unter Leitung der Bundesregierung haben Automobilindustrie, Mineralölindustrie und Biokraftstoffverbände im Rahmen der „Roadmap Biokraftstoffe“ eine sinnvolle und zielführende Lösung für die verstärkte Verwendung von Biokraftstoffen erarbeitet, die auf die technischen Anforderungen, wie zum Beispiel Obergrenze der Beimischung von Biodiesel auf sieben Volumenprozent, Rücksicht nimmt.

Die deutsche Automobilindustrie steht zu der weitgehenden Erhöhung der Biokraftstoffmengen im Diesel- und Benzin-Kraftstoff. So ist seit Januar 2009 eine Biodieselbeimischung nach EN14214 auf bis zu sieben Prozent möglich. Die weitere Erhöhung des Biokraftstoffanteils im Diesel durch sogenannte hydrierte Pflanzenöle auf mindestens zehn Prozent wurde leider bislang nicht umgesetzt. Hier erwartet die deutsche Automobilindustrie die schnelle Umsetzung dieser Beschlüsse.

Technische Grenzen beachten

Elektrische Energiespeicher

Die Fortschritte in der Batterietechnologie beflügeln nicht nur die Entwicklung von Hybridfahrzeugen. Auch Fahrzeuge, die ihre Antriebsenergie komplett aus einem modernen elektrischen Energiespeicher beziehen, sind mittelfristig durchaus eine Alternative, um den CO₂-Ausstoß im Verkehr nachhaltig zu senken.

Der Anreiz für die Nutzung batterieelektrisch angetriebener Fahrzeuge ist groß. Elektromotoren sind weniger komplex als Verbrennungsmotoren, benötigen ein weniger aufwendiges Getriebe und lassen sich bei Bedarf sogar platzsparend in jedem Rad unterbringen. Das Elektrofahrzeug führt im Betrieb zu keinerlei lokalen Abgas- oder CO₂-Emissionen. Es ist faktisch ein „Null-Emissions-Fahrzeug“ und daher als „0 Gramm CO₂ pro Kilometer“ im Kontext der EU-CO₂-Gesetzgebung für Pkw anzusetzen. Wenn Elektrofahrzeuge mit regenerativ erzeugtem Strom aus Wind, Sonne oder Wasser betrieben werden, sind sie sogar über die gesamte Energiekette weitgehend emissionsfrei.

Elektroauto ist
„Null-Emissions-Fahrzeug“

Die heute im Bereich der mobilen Computer- und Telekommunikationsgeräte verbreitete Technologie der Lithium-Ionen-basierten Batteriesysteme hat nach aktuellen Erkenntnissen auch ein großes Potenzial für den Einsatz in Fahrzeugen. Sie kann größere Energiemengen bei vertretbarem Volumen und Gewicht speichern und erfüllt so eine erste wesentliche Voraussetzung im Hinblick auf die Anforderungen im Auto. Reichweiten von bis zu 200 Kilometern und mehr werden sich mit Lithium-Ionen-Batterien in einem Pkw der Kompaktklasse erreichen lassen. Allerdings müssen für einen Serieneinsatz im Automobil noch weitere sehr wichtige Anforderungen erfüllt werden. So müssen solche Batterien nicht nur den im Fahrzeugalltag zahlreich auftretenden Stößen und Vibrationen standhalten, sie dürfen auch im Falle eines Unfalls keinerlei Gefahrenpotenzial für die Beteiligten bergen.

Lithium-Ionen-Batteriesysteme mit
großem Entwicklungspotenzial

Die Experten der Unternehmen im VDA haben gemeinsame Lastenhefte und Prüf-spezifikationen für Lithium-Ionen-Batterien formuliert und befassen sich auch mit Eignungsprüfungen einzelner Batteriebauteile sowie mit der Standardisierung von Komponenten. Gleichwohl besteht noch weiterer Forschungsbedarf, da sich der Einsatzbereich im Automobil wesentlich von dem in Computern oder Mobiltelefonen unterscheidet. Als Stichworte für die weitere Optimierung dieser Technologie seien hier die Kosten, die Crashesicherheit, die Energiedichte und auch die Lebensdauer genannt.

Soll die Batterie den bisherigen Energiespeicher ersetzen, muss sie über die gesamte Nutzungsdauer des Fahrzeuglebens sicher und zuverlässig funktionieren. Gerade die Lebensdauer spielt bei den für ein Lithium-Ionen-Batteriesystem zu erwartenden Kosten eine essenzielle Rolle. Geeignete Betriebsstrategien müssen daher dafür sorgen, dass der Ladezustand der Batterie immer im optimalen Bereich bleibt.

Ein batterieelektrisch angetriebenes Fahrzeug stellt ein hochkomplexes System dar. Nur in enger Zusammenarbeit können chemische Industrie, Batteriehersteller, Automobilhersteller und Zulieferer Lösungen zur Erfüllung dieser Anforderungen entwickeln. Bis zur Serienreife von elektrischen Energiespeichersystemen für Fahrzeuge müssen Wissenschaft und Forschung also noch einen großen Beitrag leisten. Derzeit laufen dazu weltweit zahlreiche Forschungsprojekte, an denen sich alle betroffenen Industriezweige beteiligen und die auch von der öffentlichen Hand massiv unterstützt werden.

Beginnend mit dem Einsatz in bestimmten Gebieten, wie zum Beispiel in Ballungsräumen mit besonders strengen emissionsbezogenen Restriktionen, kann sich der batterieelektrische Antrieb vor allem beim Stadt- und Kurzstreckenverkehr mittel- und langfristig als eine mögliche Alternative zum Verbrennungsmotor etablieren, wenn eine entsprechende Infrastruktur besteht.

Ersetzen – Wasserstofftechnik / Elektroantrieb als Ziel – die Zukunft der Mobilität

Langfristiges Ziel bleibt das Null-Emissions-Fahrzeug durch den Ersatz fossiler Kraftstoffe. In diesem Zusammenhang hat in letzter Zeit vor allem das Thema des batterieelektrischen Fahrzeugs (battery electric vehicle, BEV) neben der Option Wasserstoff als Kraftstoff für ein Brennstoffzellenfahrzeug (fuel cell electric vehicle, FCEV) an Popularität gewonnen. Bei beiden Typen handelt es sich um verschiedene Arten des elektrisch betriebenen Autos, und beide sind Träger der zukünftigen nachhaltigen Mobilität.

Das batterieelektrische Fahrzeug

Bereits vor mehr als 100 Jahren wurde das batterieelektrische Fahrzeug erfunden, jedoch hatten sich über die Jahrzehnte die technischen Perspektiven für die Energiespeicherung nicht wesentlich geändert, sodass eine breite Einführung dieses Fahrzeugkonzeptes nicht erfolgte. Insbesondere durch die bereits erzielten und zu erwartenden Fortschritte auf dem Gebiet der Lithium-Ionen-Batterie als Schlüssel der Elektromobilität stellt sich die Frage nach der Elektrotraktion inzwischen neu. In der Öffentlichkeit ist der Eindruck entstanden, ein Wandel zum Elektroauto stünde unmittelbar bevor. Die Elektromobilität wird kommen, aber nicht als Revolution, sondern als Evolution. Deshalb wird ungeachtet der zu Beginn des nächsten Jahrzehnts in Verkehr gebrachten serienmäßig hergestellten batterieelektrischen Fahrzeuge der Verbrennungsmotor noch weiterhin seinen Platz behaupten.

Zur Umsetzung der Elektromobilität sind noch mehrere Voraussetzungen erforderlich:

- Die Verfügbarkeit von leistungsfähigen Energiespeichern
- Der Aufbau einer standardisierten Infrastruktur zum Laden der Fahrzeuge
- Die Bereitstellung von umweltfreundlicher und regenerativ erzeugter Energie
- Die Akzeptanz des Kunden für Elektrofahrzeuge
- Die Anreizregelung von Elektrofahrzeugen sowie verlässliche politische Rahmenbedingungen

Entscheidend ist die Akzeptanz des Kunden für eine Elektromobilität. Der Anwendungsbereich der heutigen und in naher Zukunft zu erwartenden Fahrzeuge definiert sich aus den wirtschaftlich erzielbaren Reichweiten. Somit ist der Einsatz im Kurzstreckenbetrieb und in Ballungszentren sinnvoll. Für andere Anwendungen sind die Entwicklung und der Einsatz von Fahrzeugen mit einem kleinen Verbrennungsmotor zur Reichweitenverlängerung (extended-range electric vehicle, E-REV) unabdingbar.

Einsatz batterieelektrischer Fahrzeuge insbesondere in Ballungsräumen

Das batterieelektrische Fahrzeug hat einen besonderen Vorteil: Es ist im Betrieb ein „Null-Emissions-Fahrzeug“. Insbesondere in den Städten ist dieser Vorteil bei den lokalen Emissionen direkt spürbar. Nicht nur die Abgasemissionen entfallen, sondern auch die Straßenverkehrsgeräusche werden drastisch reduziert. Insofern erhöht das elektrisch angetriebene Fahrzeug die Lebensqualität.

Strom muss aus regenerativen Quellen stammen

Die für die Elektromobilität erforderliche Stromerzeugung sollte umweltfreundlich und regenerativ erfolgen. Bei dem geringen Strombedarf für Elektrofahrzeuge ist dies ohne Weiteres machbar, sodass der Kreis über umweltfreundliche Stromerzeugung bis zum Verbrauch im Fahrzeug geschlossen wäre. Während Ersteres die Aufgabe der Energiewirtschaft ist, ist Letzteres die Aufgabe der Automobilindustrie. Damit bleibt die bewährte Arbeitsteilung zwischen Energiebereitstellung und Fahrzeugherstellung bestehen: Der Energiewirtschaft kommt die Aufgabe zu, den Strom für batterieelektrische Fahrzeuge klimafreundlich und regenerativ zu erzeugen, so wie der Mineralölwirtschaft die Aufgabe der Kraftstoffherstellung obliegt und die Automobilindustrie in der Verantwortung steht, sichere, zuverlässige und effiziente Fahrzeuge anzubieten.

Kundenakzeptanz und Betriebskosten für das Fahrzeug sind eng verknüpft. Nach heutigem Stand ist ein batterieelektrisches Fahrzeug erheblich teurer als ein konventionelles Fahrzeug, das ist schon allein durch die aufwendige Batterietechnologie begründet. Da dem Kunden die Möglichkeit gegeben werden muss, die Mehrkosten über einen zumutbaren Zeitraum wieder zu erwirtschaften, sollten Anreize steuerlicher Art, direkte Förderungen und Nutzervorteile die Einführung der Elektrotraktion flankieren, um den Autofahrer für die Elektromobilität zu gewinnen. Fahrtechnisch gesehen wird der Elektroantrieb den Fahrer durch seinen schnellen Antritt begeistern. Und die Kundenakzeptanz entscheidet sich nicht zuletzt an der Stromladestelle. Da sind einerseits die Kosten, aber auch die Handhabung bei der Batterieladung wichtige Faktoren.

Normungsaktivitäten haben dazu bereits begonnen, die Industrie bringt sich hier sehr intensiv ein. Aber nach wie vor bleiben Fragen offen, beispielsweise nach der Finanzierung der öffentlich zugänglichen Ladestationen, die insbesondere für den „Laternenparker“, der keine eigene Garage hat, unerlässlich sind.

Mit Blick auf die Kosten muss sichergestellt sein, dass der Autofahrer die Wahlfreiheit des Energieanbieters auch bei öffentlichen Stromladestationen hat und dass es für batterieelektrische Fahrzeuge keine speziellen Aufschläge oder Abgaben im Vergleich zum Haushaltsstrom gibt. Ein funktionierender Wettbewerb wird diese Anforderung unterstützen.



- 1 Ladesteckdose
- 2 Service-Schalter
- 3 Batterie
- 4 Anschlussbox
- 5 Hoch-Volt-Bordnetz
- 6 Steuerungsmodul
- 7 Hoch-Volt-Steuerungselektronik
- 8 Elektromotor
- 9 Elektronische Vakuumpumpe
- 10 Getriebe

E-Mobility-Projekte deutscher OEM. Quelle: BMW AG, Daimler AG, Volkswagen AG



Wasserstoff

Wasserstoff (H_2) hat aus heutiger Sicht das Potenzial, die aus fossilen Rohstoffen erzeugten Kraftstoffe wie Benzin und Diesel langfristig zu ersetzen. Voraussetzung ist jedoch, dass dieser regenerativ erzeugt wird. Die Automobilhersteller arbeiten bereits seit Jahren gemeinsam mit Unternehmen der chemischen Industrie, der Mineralölindustrie und öffentlichen Forschungseinrichtungen daran, die weiter wachsenden Mobilitätsansprüche der Menschen auf diesem Wege zu sichern. Dennoch muss davon ausgegangen werden, dass die Umsetzung und Überführung der heute bereits vorhandenen technischen Konzepte in die Serienproduktion nur langfristig erfolgen können. Wasserstoff verfügt bezogen auf die Masse über einen hohen Energieinhalt und kann sowohl in Brennstoffzellen als auch im Verbrennungsmotor eingesetzt werden. Er verbrennt nahezu schadstofffrei zu Sauerstoff und Wasser. Gegenwärtig werden weltweit mehr als 600 Millionen Kubikmeter Wasserstoff produziert. Nur ein Teil davon wird für bestimmte technische Prozesse benötigt. Ein nicht geringer Teil fällt bei anderen Prozessen automatisch als „Abfallprodukt“ an und wird dann als Brennstoff genutzt. Der Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff ist umweltpolitisch und wirtschaftlich nur vertretbar, wenn er entweder aus regenerativen Energieträgern hergestellt wird oder als Nebenprodukt bei anderen chemischen Produktionsprozessen anfällt. Andernfalls würde weder die Umweltbelastung reduziert werden noch die eigentlichen Vorteile von Wasserstoff zum Tragen kommen.

Wasserstoff als Energiespeicher

Für eine Produktion von Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen steht bereits heute eine breite Palette von Möglichkeiten zur Verfügung – von der Nutzung von Solarstrom über Windenergie bis hin zur direkten Erzeugung aus Biomasse. Heute gibt es Tage, an denen in Deutschland durch Windkraft und Solarzellen in bestimmten Regionen mehr Energie regenerativ erzeugt werden könnte als verbraucht wird. Da Wasserstoff auch als Energiespeicher genutzt werden kann, besteht so die Möglichkeit, diese überschüssige Energie zu speichern und/oder für den Antrieb der Kraftfahrzeuge zu verwenden. Damit ebnet Wasserstoff auch den Weg für den verstärkten Ausbau der regenerativen Technologien zur Bereitstellung von Energie.

Zudem ist die Versorgung lösbar, da Wasserstoff auch über längere Distanzen, zum Beispiel in Rohrleitungen, transportiert oder vor Ort direkt an einer Tankstelle produziert werden kann. Somit ist der Ansatz, langfristig auf Wasserstoff als Kraftstoff der Zukunft zu setzen, durchaus realistisch.

Die Industrie und die öffentliche Hand in Deutschland und Europa treiben bereits seit vielen Jahren nationale und internationale Forschungsprojekte voran, die den Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff für alle Arten von Kraftfahrzeugen langfristig sicherstellen sollen. In den zurückliegenden Jahren wurden dafür von allen Beteiligten bereits Investitionen im zweistelligen Milliarden-Euro-Bereich getätigt.

Die Automobilindustrie führt dabei nicht nur durch Forschung und Entwicklung von Antriebstechniken auf Basis von Wasserstoff, sondern beteiligt sich auch intensiv an komplexen Forschungsprojekten zur Herstellung, Distribution und Speicherung von Wasserstoff.

Derzeit werden zwei alternative Antriebstechnologien entwickelt:

Einsatz der Brennstoffzelle

Eine Alternative zum Verbrennungsmotor stellt der Einsatz von Brennstoffzellen in Kraftfahrzeugen dar. Die wesentlichen Vorteile der Brennstoffzelle sind der im Vergleich zum Verbrennungsmotor etwa doppelt so hohe Wirkungsgrad sowie der – abgesehen von Wasser – emissionsfreie Betrieb des Fahrzeugs. In der Brennstoffzelle wird durch die sogenannte kalte Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff mit einem sehr hohen Wirkungsgrad chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Diese kann dann sowohl für den Antrieb des Fahrzeugs mittels Elektromotoren als auch für den Betrieb der zahlreichen Nebenaggregate eingesetzt werden. Damit wird der gesamte Antriebsstrang elektrifiziert. Es kann auf ein mechanisches Verteilergetriebe ebenso verzichtet werden wie auf diverse Nebenaggregate wie zum Beispiel den Anlasser.

Beibehaltung des Verbrennungsmotors

Die direkte Verbrennung von Wasserstoff in sogenannten bivalenten Verbrennungsmotoren ermöglicht den Betrieb der Fahrzeuge sowohl mit Wasserstoff als auch mit herkömmlichen Kraftstoffen – analog zu Erdgasfahrzeugen. Im Wasserstoffbetrieb sind die Emissionen im Vergleich zum Benzinbetrieb noch einmal deutlich reduziert. Dies ist vor allem in einer Übergangsphase von Vorteil, in der noch kein dichtes Netz von Wasserstofftankstellen zur Verfügung steht. Solche Fahrzeuge verfügen neben dem herkömmlichen Kraftstofftank über einen zusätzlichen Tank für Wasserstoff, sodass bei Nutzung beider Tanks Reichweiten ähnlich denen der heutigen Kraftfahrzeuge erreichbar sind.

Beide Alternativen haben inzwischen den Prototypenstatus verlassen. So haben einige Automobilhersteller Kleinserien hergestellt, die von ausgewählten Nutzern in einem geeigneten Umfeld betrieben werden. Auf diese Weise werden wichtige Erkenntnisse für eine spätere Serienfertigung in größeren Stückzahlen gesammelt. Es kann bereits jetzt festgestellt werden, dass die Fahrzeuge in Bezug auf Reichweite und Betankungsschnelligkeit den heutigen Autos nahekommen.

Die Schwerpunkte der künftigen Entwicklung liegen nun vor allem in der Verbesserung der Alltagstauglichkeit und in der Kostenminderung. Zudem konzentriert sich die Forschung heute vor allem auf die Optimierung der Leistung der mobilen Speichermöglichkeiten, neben der Gewichtsreduzierung, der Reduzierung der Temperaturabhängigkeit und der Erhöhung der Leistung.

Die Reichweite wird heute durch die Menge des in Druckgastanks mit bis zu 700 Bar gespeicherten Wasserstoffs bestimmt. Die meisten Automobilhersteller arbeiten mit dieser Technik. Die Adaptierung der gesamten Fahrzeugkonstruktion mit dem Ziel, größere Tanks mitzuführen, soll hier ebenso zur weiteren Erhöhung der Reichweite beitragen wie die Optimierung des Verbrauchs.

Ein anderer Ansatz zur Erhöhung des Wasserstoffvorrats an Bord ist die von der Vorausentwicklung untersuchte Tiefkühlung von flüssigem Wasserstoff. Dazu werden isolierte Drucktanks benötigt, um einer Verflüchtigung über eine längere Standzeit hinweg entgegenzuwirken. Die Möglichkeiten der Tiefkühlung werden eventuell durch die Tiefstkältetechnologie übertroffen.

Die Autohersteller verfolgen die Strategie, wasserstoffbetriebene Fahrzeuge zunächst in Ballungsräumen für Kleintransporter im Zustellverkehr oder bei Bussen im öffentlichen Nahverkehr einzusetzen. Dieses Szenario soll die Verbreitung solcher Fahrzeuge fördern und den Nachteil der fehlenden Dichte von Wasserstofftankstellen ausgleichen.

Während die grundlegenden technischen Probleme von Wasserstoff als Kraftstoff sowie für dessen Produktion und Verbreitung heute gelöst sind und sich die beteiligten Unternehmen inzwischen um die Optimierung hin zum Serieneinsatz bemühen, bleibt der Aufbau einer Infrastruktur, die die flächendeckende Versorgung der Verkehrsteilnehmer sicherstellt, vor allem aus finanzpolitischer Sicht offen, wobei die geplanten Aktionen des Bundesverkehrsministeriums im Rahmen des Konjunkturpakets II einen An Schub bringen werden. Wir sehen deshalb optimistisch in die Zukunft.

Wasserstofftankstellennetz erforderlich

Ausblick – Automobilität für die Zukunft

Die Automobilindustrie ist eine hochinnovative Branche. Sie hat allein in den letzten fünf Jahren mehr als 85 Milliarden Euro in Forschung und Entwicklung investiert. Das Ergebnis ist schon heute eine erhebliche Effizienzsteigerung der Fahrzeuge. Dennoch gilt es, weitere Potenziale zu erschließen. Die Entwicklung neuer Antriebstechnologien und der Einsatz neuer, alternativer Kraftstoffe ist ein Schwerpunkt von Forschung und Entwicklung der Automobilindustrie. Der erste Schritt ist getan: Produktions- bzw. Pilotanlagen zur großtechnischen Herstellung von GtL und auch von BtL sind bereits in Betrieb. Gerade auf Letzteres sind wir besonders stolz, denn die Technik wurde in Deutschland erfunden.

Auch andere nachwachsende Rohstoffe übernehmen einen immer stärkeren Anteil an der Kraftstoffversorgung. Die heutige Abhängigkeit von der OPEC darf jedoch nicht durch eine Abhängigkeit von Agrarstaaten ersetzt werden. Eine Transformation weg von den Öl-Staaten hin zu den Ölsaaten-Staaten wäre fatal. Denn Ziel der Strategie „weg vom Öl“ ist einerseits eine bessere Umweltperformance sowie die Steigerung des Anteils der regenerativen Energien am Kraftstoffmarkt und andererseits eine Diversifizierung, um die Abhängigkeit von politisch instabilen Regionen zu minimieren.

Die Einführung neuer genormter Kraftstoffe kann nur in Zusammenarbeit mit den Kraftstoff- und Anlagenherstellern erfolgen. Damit wird deutlich, dass die Strategie für Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft eine gesamthafte volkswirtschaftliche Aufgabe ist. Die Automobilindustrie hat dies bereits früh erkannt und an energiewirtschaftlichen Strategien mitgearbeitet. Ein bedeutender Baustein ist die Kraftstoffmatrix der Bundesregierung. Hier wurden in Zusammenarbeit mit anderen Branchen die Potenziale für die heutigen und die alternativen Kraftstoffe aufgezeigt.

Neu hinzugetreten ist die Elektromobilität. Auch hier gilt, dass der Strom für die Mobilität aus regenerativen Quellen durch die Stromwirtschaft bereitzustellen ist. Nur so lässt sich die Nachhaltigkeit sicherstellen.

Eines wird bei der Betrachtung der verschiedenen Optionen der Fächerstrategie sehr deutlich: Bis zur langfristig angestrebten Wasserstofftechnologie und dem Elektroantrieb werden ergänzende Brückentechnologien erforderlich sein. Aber alle haben eines gemeinsam: Die Umwelt wird profitieren.

Aber nicht nur den Antriebstechnologien gilt der Forschungseinsatz zum effizienten Ersatz der Energie, sondern unter anderem auch der Weiterentwicklung in der Telematik, etwa mithilfe von „Floating Car Data“ und der „Car-to-Car Communication“. Unsere Erfolge bestätigen unsere Strategie.

Die Automobilindustrie ist schon ein gutes Stück auf dem Weg der langfristigen Transformation hin zur nachhaltigen Mobilität vorangekommen. Um die Früchte dieses Erfolgs ernten zu können, ist ein integrierter Ansatz, in dem Industrie, Staat, aber auch die Kunden zusammenarbeiten, unabdingbar. Der Staat trägt eine Verantwortung für eine nachhaltige Gestaltung der Automobilität und Innovationen im Straßenverkehr. Erhaltungsinvestitionen, gezielter Ausbau und nicht zuletzt die dritte Fahrspur für die Autobahnen sind Maßnahmen für einen ressourcenschonenden Verkehrsablauf und die Verbesserung der Umweltperformance!

Es sind nachhaltige Fernstraßeninvestitionen erforderlich. Staus und Engpässe im Verkehrsfluss müssen beseitigt werden. So ließen sich bis zu 12 Milliarden Liter Kraftstoff pro Jahr einsparen. Das hieße nicht nur eine merkliche Schonung natürlicher Ressourcen und geringere Schadstoffemissionen, sondern auch 30 Millionen Tonnen weniger CO₂.

Verantwortung für eine umweltgerechte Mobilität tragen auch unsere Kunden. Der Bürger reagiert derzeit auf steigende Mobilitätskosten zwar nicht mit Einschränkung der Mobilität, aber mit Zurückhaltung beim Kauf eines neuen, sparsameren Autos. Diese Verunsicherung lässt den Fahrzeugbestand altern. Einsparpotenziale bleiben daher ungenutzt. Würde das Alter des Fahrzeugbestands nur um ein Jahr gesenkt, könnten 800 Millionen Liter Kraftstoff pro Jahr eingespart werden. Das entspricht 2 Millionen Tonnen CO₂.

Rund fünf Millionen Fahrzeuge erfüllen nur die Abgasnorm EURO 1 und schlechter und haben damit zugleich auch nur einen Verbrauchsstandard von vor zehn, zum Teil sogar 15 oder 20 Jahren.

Die Art und Weise, wie Fahrzeuge betrieben werden, bestimmt der Nutzer. Die Automobilindustrie bietet hier Hilfe an, indem Sprintspar- und Eco-Driving-Kurse veranstaltet werden. So kann jeder sein Fahrzeug noch effizienter und umweltfreundlicher fahren. Die Erfahrung hat gezeigt, dass durch das Verhalten der Fahrer erhebliche Kraftstoffmengen gespart werden können. Sprintspartipps des VDA zeigen mit einfachen Beispielen, wie große Sparpotenziale genutzt werden können.

Die Automobilindustrie ist gut aufgestellt. Sie wird die Optionen der Fächerstrategie ausschöpfen. Das heißt,

- **kurz- und mittelfristig** wird noch effizienter mit dem Rohstoff Erdöl umgegangen,
- **mittel- und langfristig** werden Kraftstoffalternativen einschließlich der nachwachsenden Rohstoffe ergänzend zum Einsatz kommen,
- **langfristig** werden die regenerative Wasserstoffwirtschaft und die Elektromobilität mit regenerativ erzeugtem Strom angestrebt.

Auch künftig wird die individuelle Mobilität Ziel der Menschen bleiben. Antriebe und Kraftstoffe sind nur ein Teil der Facette der nachhaltigen Mobilität. Diese umfasst noch viel mehr: So wird das Auto immer „intelligenter“, effektiver, sicherer und komfortabler. Eine hohe Bedeutung wird künftig den Fahrerassistenzsystemen zugemessen, wie zum Beispiel Abbiegesensorik, Spurwechselassistent oder Lichtsysteme, die den Fahrer unterstützen und gleichzeitig auch die Sicherheit erhöhen. Auch erwarten wir, dass die Fahrzeuge künftig miteinander „kommunizieren“ werden. Erste Systeme, wie zum Beispiel SIM^{TD}, befinden sich bereits in der Erprobung.

Entscheidend für den Erfolg der deutschen Marken ist die Innovationskraft in allen Bereichen des Automobils – sowohl in der Technik als auch in der Vermittlung eines Gesamteindrucks des perfekten Autos. Das ist der Kompetenzbereich der Automobilindustrie. Das moderne Fahrzeug braucht eine ebensolche Infrastruktur. Hier ist die öffentliche Hand gefordert. Nur mit diesem gesamtheitlichen Ansatz lässt sich eine nachhaltige Mobilität erreichen, die die Brennstoffzelle, den Verbrennungsmotor, den Wasserstoff- und den Elektroantrieb miteinbezieht. Die Automobilindustrie wird ihren Beitrag zu einer zukunftsgerichteten und nachhaltigen Mobilität leisten.

Impressum

Herausgeber	VDA Verband der Automobilindustrie e.V. Westendstraße 61 60325 Frankfurt am Main Telefon 069 97507-0 Fax 069 97507-261 info@vda.de www.vda.de
Redaktion	VDA Bereich Technik und Umwelt, Abteilung Umwelt
Gestaltung	dangerous. Berlin
Druck	Henrich Druck + Medien GmbH, Frankfurt am Main
Bildmaterial	Titelbild Elektromotor, Quelle: Bosch
Copyright	Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) 2009
Stand	August 2009, 2., überarbeitete Auflage

VDA
Verband der Automobilindustrie e.V.
Westendstraße 61
60325 Frankfurt am Main
Telefon 069 97507-0
Fax 069 97507-261
info@vda.de
www.vda.de

Bitte beachten Sie unsere neue Anschrift ab 1. März 2010:

**Behrenstr. 35
D-10117 Berlin
Telefon 030 897842-0
Fax 030 897842-50**

VDA | Verband der
Automobilindustrie