

Verkehrswende (Teil 2)



Vor allem in den zentralen städtischen Bereichen wird es erforderlich, dass der immer noch wachsende Verkehr auf unterschiedliche und vor allem auch lokal zur Verfügung stehende Verkehrsmittel verlagert werden kann, sollen die Innenstädte und deren Bewohner nicht durch einen täglichen Verkehrsinfarkt behindert werden. Dazu können auch „Bike-Sharing“ Stationen gehören, wo Elektroräder zum Mieten zur Verfügung stehen, die in den entsprechenden Abstellplätzen auch gleichzeitig geladen werden.

Der Verkehrssektor trägt in Deutschland etwa 30 % zu den Treibhausgasemissionen bei. Wenn man die Klimaerwärmung auf maximal 2°C begrenzen möchte, kommt man nicht umhin, die heute überwiegend mit fossilen Kraftstoffen arbeitenden Antriebssysteme der Verkehrsträger auf elektrische Energie umzustellen, oder qualitativ gleichwertige, neue Kraftstoffe in genügender Menge herzustellen, die keinen fossilen Kohlenstoff mehr enthalten. Beide Anforderungen stellen riesige Herausforderungen dar, zumal sich Deutschland verpflichtet hat, bis 2050 nahezu klimaneutral zu sein. Dieser Kraftakt kann nur gelingen, wenn zugleich die parallel erforderliche „Energiewende“ wirklich grundlegend und tatkräftig angegangen wird. Außerdem muss eine deutliche Effizienzsteigerung der bisherigen Systeme mit einer Verringerung der heutigen Mobilität Hand in Hand gehen. Im Personen- und Güterverkehr muss zudem eine Veränderung des gegenwärtigen Modal-Split durchgesetzt und mehr Güterverkehr auf die Schiene verlagert werden. Zugleich muss dem Rad- und Fußgängerverkehr – vor allem im städtischen Raum und des-

sen Umland – eine deutlich höhere Bedeutung als bisher beigemessen werden. Zudem müssen künftig neue Fahrzeugentwicklungen und die damit verknüpften Anforderungen so in die bestehenden Verkehrsflüsse integriert werden können, dass dabei keine Nachteile oder Gefahren für die Verkehrsteilnehmer entstehen.

Dieser Beitrag stellt die aktuelle Situation dar, versucht absehbare Entwicklungen zu skizzieren, behandelt die verschiedenen Verkehrsträger und ihre Bedeutung und spricht mögliche technologische Weiterentwicklungen der verschiedenen Antriebssysteme unter dem Aspekt an, wie eine „Verkehrswende“, die diesen Namen verdient, ermöglicht werden kann. Abschließend werden die für diesen vielfältigen Prozess wichtigsten Gesichtspunkte und Notwendigkeiten zusammengefasst. Die folgenden technischen Möglichkeiten werden diskutiert: Weiterentwicklung konventioneller Antriebe und Kraftstoffe, batteriebasierte und hybrid-elektrische Antriebssysteme sowie Antriebssysteme mit Brennstoffzellen-Technik. Dabei werden die batteriebasierten Systeme aus technischen, ökologischen und sozialen Gründen sowie wegen der Abhängigkeit von wenigen Staaten in Übersee durchaus kritisch gesehen. Dieser Beitrag sieht daher bereits auf mittlere Sicht in der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie eine zukunftsweisendere Lösung. Unbedingt erforderlich ist ein Kulturwandel, der die ökologischen und sozialen Notwendigkeiten zusammendenkt und dabei die für den Industriestandort Deutschland wichtigen ökonomischen Grundlagen und Bedingungen berücksichtigt. Das System „Straße“ muss in jeder Hinsicht neu und möglichst vorurteilsfrei neu gedacht werden.

Inhalt: Verkehrswende - Teil 2

Entwicklungen, die sich abzeichnen scheinen	Seite 22
Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS)	Seite 26
Zur Weiterentwicklung konventioneller Antriebe und Kraftstoffe	Seite 33
Batterie-basierte und hybrid-elektrische Antriebssysteme	Seite 37

Verkehrswende – Teil 1 *bitte auf folgender Seite unten öffnen:*

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>

Verkehrswende – Teil 3 (mit Literaturhinweisen) *bitte auf folgender Seite unten öffnen:*

<https://www.fiwiso-allianz.de/162>

Entwicklungen, die sich abzuzeichnen scheinen

Man kann heute ziemlich gesichert davon ausgehen, dass spätestens bis 2050, wahrscheinlich aber schon deutlich früher, der Verkehr weitestgehend auf Fahrzeuge mit nicht-fossilen Energieträgern umgestellt sein wird. So will beispielsweise Norwegen bereits von 2025 an keine Pkw mehr zulassen, die mit Benzin- oder Dieselmotor angetrieben sind. Von demselben Jahr an müssen auch norwegische Schiffe und Fähren ebenfalls ohne fossile Energieträger betrieben werden.

Norwegen ist in dieser Hinsicht die mit Abstand weltweit führende Nation, aber auch andere Nationen haben sich bereits klare Ziele für ihre Energiewende gesteckt. So wird beispielsweise China bereits vom Jahr 2019 an eine 10 %-Quote für die Produktion und den Absatz von Elektro-Pkws (BEV), Hybrid-Pkws (HEV) oder Pkws mit Plug-in-Hybrid-Antrieb (PHEV) fordern. Aus chinesischer Sicht wird dies als „Weckruf“ für einen Einstieg in die Produktion von batteriegetriebenen Elektro-Autos gesehen. Für die chinesische Führung gilt die E-Mobilität als Schlüsseltechnologie. Da China in der Batterietechnik führend ist, bringt der rasche Übergang zur E-Mobilität nicht nur in Hinsicht auf die Umweltprobleme, sondern auch industriepolitische Vorteile. Marktführer bei diesen Fahrzeugen ist ohnehin China, dessen Unternehmen BYD im vergangenen Jahr weltweit mehr als 100.000 Pkw abgesetzt hat. 2016 wurden in China mehr als 370.000 Pkw mit batteriegetriebenen Antriebssystemen verkauft - 2017 waren es bereits 777.000 und 2018 waren es 1.275.000 Mio. E-Autos! Der deutsche Anteil daran ist eher klein.

Auch die Niederlande planen einen – voraussichtlich vollständigen - Umstieg bis zum Jahr 2025. Etwas zögerlicher sind Frankreich und Großbritannien, die erst von 2040 an keine PKW mit Verbrennungsmotor mehr zulassen wollen. Deutschland hat sich in dieser Hinsicht noch nicht festgelegt. Die Diskussion über den Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor läuft jedoch auch hier, wenn auch alles andere als zügig oder konfliktfrei. Hierbei werden immer wieder die unterschiedlichen Anforderungen an den Verkehr in den Städten und in den dünner besiedelten ländlichen Bereichen diskutiert.

Zahlreiche Großstädte nehmen zunehmend eine restriktive Haltung gegenüber dem motorisierten Individualverkehr ein. So will London im „Kampf gegen die Luftverschmutzung und die dadurch verursachten Todesfälle“ eine „Dreckschleudergebühr“ in Höhe von 10 Pfund pro Fahrt ins das Stadtzentrum erheben. Diese Gebühr wird fällig bei Kraftfahrzeugen, die – so die ARD in einem Bericht am 23. Okt. 2017 - vor 2006 zugelassen wurden und die Abgasnormen nicht einzuhalten vermögen.

Paris, London, Los Angeles und neun weitere Großstädte beabsichtigen, von 2025 an nur noch Busse ohne CO₂-Emissionen zu beschaffen. In Paris soll zusätzlich bereits von 2030 an kein Pkw mit konventionellem Antrieb mehr fahren dürfen. Auch verpflichten sich die entsprechenden Bürgermeister, dass „mindestens ein wichtiger Stadtteil unserer Stadt bis 2030 abgasfrei“ sein wird. Zudem soll der Fußgänger- und Radfahrerverkehr sowie der ÖPNV massiv gefördert werden. Diese Städte fordern generell eine möglichst rasche Abkehr vom Auto mit Verbrennungsmotor im Stadtverkehr.

In Deutschland läuft diese Entwicklung recht schleppend an, obwohl der Kauf eines Elektroautos mit 4000 €, derjenige eines Plug-in-Hybrid-Modells mit 3000 € subventioniert wird. So wurden auch zwischen Januar und Oktober 2017 nur knapp 16.000 batteriebetriebene Elektroautos neu zugelassen (Quelle: Car-Center Automotive Research). Bis zum 31.12.2016 waren lediglich 34.000 batteriebetriebene E-Autos in Deutschland zugelassen. Dies besagt, dass 2016 nur jedes 200ste neu zugelassene Auto einen Elektroantrieb aufgewiesen hat – Zum Beginn des Jahres 2019 war es insgesamt etwa jedes 370ste zugelassene Auto. Das Ziel der Bundesregierung von 1 Mio. Elektro-Pkw bis 2020 wird damit mit Sicherheit deutlich verfehlt werden. Dabei werden auch in Deutschland zunehmend Elektroautos gebaut, die jedoch vor allem im Ausland verkauft werden.

Die Diskussion darum, ob der benötigte Strom im Fahrzeug selbst erzeugt wird (mit Hilfe der Brennstoffzelle) oder ob er an einer Steckdose aus dem Stromnetz geladen und in einer Batterie an Bord des Fahrzeugs gespeichert werden sollte (batteriegetrieben), wird in Deutschland heftig geführt. Nur wer sich fast ausschließlich in den Städten bewegt, kann auch auf eine ausreichende, für batteriegetriebene Elektrofahrzeuge erforderliche Ladeinfrastruktur zählen. Die Infrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge ist in Deutschland ebenfalls noch viel zu wenig ausgebaut, obwohl sie derzeit auch schon für einen Verkehr allein zwischen den Ballungszentren nutzbar ist.

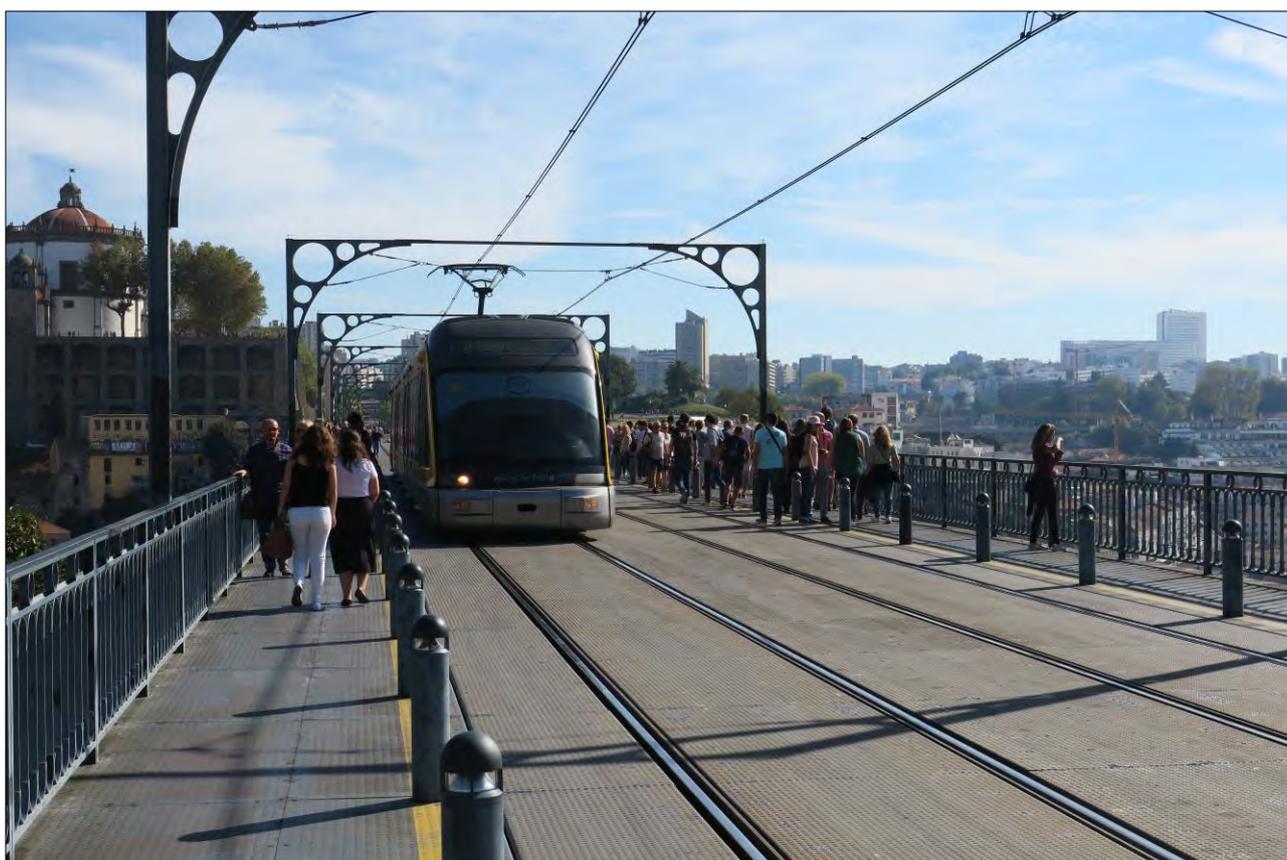
Allerdings nimmt nach einer Mitteilung der ARD vom 1. Nov. 2017 in mehreren deutschen Großstädten die E-Mobilität langsam Fahrt auf. Bei der Neubeschaffung von Dienstwagen wird zunehmend auf E-Autos gesetzt. Spitzenreiter ist Freiburg, wo die Stadt bereits sechs solche Fahrzeuge im Einsatz hat und zusätzlich 53 Elektro-Pkw zu je 22.600 € zu kaufen beabsichtigt. Auch andere Großstädte wie Braunschweig, München und Stuttgart werden in diese Richtung investieren. Der deutsche Städtebund sieht in dieser Entwicklung einen generellen Trend. Der Einsatz dieser Elektrofahrzeuge sei in Städten besonders günstig, da meist nur kürzere Strecken pro Tag zurückgelegt werden würden.

Inzwischen zeichnet sich ab, dass sich die Bundesregierung darum bemüht, eine europäische Batteriezellenproduktion an einem deutschen Standort zu platzieren. Dabei scheinen sich derzeit verschiedene Konsortien mit oft verschiedenartigen Partnern zu bilden, die sich für eine solche Produktion in Deutschland interessieren. Ein großes Hindernis dabei sind die hohen Lohn- und Energiekosten an einem europäischen Standort. Gleichzeitig wird inzwischen deutlich, dass sich verschiedene Zulieferindustrien nur sehr eingeschränkt oder gar nicht für die Batterieproduktion entscheiden können. So zweifelt der Continental-Konzern inzwischen stark an einem wirtschaftlichen Erfolg einer solchen Beteiligung und will eher bestimmte Teile zuliefern, während sich bisher die Bosch-Gruppe dafür entschieden hat in die Brennstoffzellenproduktion zu investieren und mit entsprechenden europäischen Herstellern „Joint-Venture-Verträge“ abzuschließen.

Eine Studie des Wuppertal-Instituts, die 2017 im Auftrag von Greenpeace durchgeführt wurde, weist aus, dass es durchaus möglich ist, den Verkehr bis 2035 emissionsfrei zu gestalten. Allerdings wird bei dieser Betrachtung davon ausgegangen, dass die übrigen

Sektoren ihre vorgesehenen Minderungsziele auch tatsächlich weitgehend ausschöpfen werden. Dies kann auch deshalb erwartet werden, da in diesen Sektoren in aller Regel die Kosten einer Verminderung der Treibhausgas-Emissionen deutlich geringer sind als im Verkehrsbereich.

Deutlich wird allerdings auch, dass die Umstellung von Antriebssystemen mit fossilen Treibstoffen auf Systeme mit Elektroantrieb keine ausreichende Maßnahme ist. Dabei ist auch entscheidend, dass sämtliche Verkehre nach Möglichkeit reduziert werden, und dass im großen Stil auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel mit deutlich geringerem Endenergieverbrauch und deutlich geringeren Emissionen, wie Fahrrad, Roller, sowie Bahn oder Bus umgestiegen wird. Sollen alternative Verkehrsträger wirklich und entscheidend gefördert werden, muss auch unbedingt die jeweils erforderliche Infrastruktur aufgebaut werden, damit diese wirklich gigantische Aufgabe auch bewältigt werden kann. Dabei sollte dann aber auch berücksichtigt werden, dass große und inzwischen ältere Bevölkerungsanteile nicht durch Vorschriften immobilisiert werden, wenn sie mit dem Fahrrad, dem Elektroroller oder einem anderen alternativen Verkehrsträger nicht mehr über längere Strecken und bei jedem Wetter unterwegs sein können.



Die öffentlichen Verkehrsmittel wie Bus oder Bahn sind zwar in den Städten oft vorhanden, sie werden aber häufig aufgrund der bestehenden und zu teuren Fahrpreise, oder der zu großen Intervalle in den Fahrplänen oft nicht benutzt. In ländlichen Bereichen und im Umland der Städte gibt es diese Verkehrsmittel stellenweise gar nicht.

In einer Untersuchung der Initiative „Agora Verkehrswende“ aus dem Jahr 2017 wurden zum Vergleich verschiedene Antriebs- und Kraftstoffkombinationen in kWh/100 km

dargestellt. Dabei wurden die Differenzkosten von vier Systemvarianten für den Zeitraum von 2010 bis 2015 für die deutsche Volkswirtschaft hergeleitet. Es sollen sämtliche Kosten für die verschiedenen Formen der Energiedienstbereitstellung, für die Zulieferinfrastrukturen, für Tankstellen und Ladeinfrastrukturen sowie für die Fahrzeugbeschaffung berücksichtigt worden sein.

- **Batterieelektrische Fahrzeuge mit direkter Stromnutzung:** 15 KWh
- **Brennstoffzellenfahrzeuge mit Wasserstoff:** 31 KWh
- **Verbrennungsmotorische Fahrzeuge mit „Power-to-Gas“:** 93 KWh
- **Wie vor aber mit „Power-to-Liquid“:** 103 KWh

Berechnungen nach DLR, Ifeu, LBST, DFZ (2015)

In dieser Untersuchung wird einerseits ein errechneter Strombedarf genannt, bei dem erforderliche Umwandlungen entsprechend der zum Untersuchungszeitpunkt bekannten Techniken umgerechnet wurden, andererseits werden auch weiterführend die auf spätere Jahre hochgerechneten Kosten benannt.

- **Batterieelektrische Fahrzeuge mit direkter Stromnutzung:** 230 Mrd. €
- **Brennstoffzellenfahrzeuge mit Wasserstoff:** 330 Mrd. €
- **Verbrennungsmotorische Fahrzeuge mit „Power-to-Gas“:** 330 Mrd. €
- **Wie vor aber mit „Power-to-Liquid“:** 740 Mrd. €

Berechnungen nach Ökoinstitut, KIT, INFRAS – 2016.

In dieser Untersuchung wird die erste Fahrzeugart (batterieelektrische Fahrzeuge) mit 230 Mrd. € als die kostengünstigste Gruppe und als Referenzszenario angegeben. Mit errechneten Kosten von 740 Mrd. € erwies sich die vierte Gruppe („Power-to-Liquid“) als diejenige, deren volkswirtschaftliche Differenzkosten mit Abstand den höchsten Betrag ausmachten. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass der Hauptunterschied in den Kosten zum Referenzszenario beim Brennstoffzellenfahrzeug in der direkten Fahrzeugbeschaffung liegt. Diese Fahrzeugkosten wurden mit 80 Mrd.€ wesentlich höher eingeschätzt als beim batterieelektrischen Fahrzeug. In der Zwischenzeit haben sich allerdings auch neue Techniken, erweiterte Notwendigkeiten auch im Bereich der Infrastrukturen und damit auch teilweise stark veränderte Kostensituationen ergeben.

Entscheidend für die E-Mobilität von morgen sind tragfähige Konzepte, die es dem Pkw-Besitzer erlauben, sein Fahrzeug mehr oder weniger wie bisher problemlos zu benutzen. Michael Ebling, der Mainzer Oberbürgermeister meint, dass die gesamte Mobilität in den Ballungsräumen noch zu wenig berücksichtigt ist. Es wird ohne die Liefernetze für den Strom und deren ausreichende Kapazitäten keine flächendeckende Elektromobilität und keine Verkehrswende geben. Die Verteilnetze werden für die batteriebetriebene Elektromobilität zum neuen Tankstellennetz. Bereits heute sind die größten Betreiber von Ladesäulen großstädtische Kommunalunternehmen.

Da diese Entwicklung absehbar ist, werden von den Kommunen „verlässliche Rahmenbedingungen“, aber auch „Förderprogramme (ein „Mobilitätstopf“) über einen längeren

Zeitraum mit einer verlässlichen Finanzierung“ benötigt und erwartet, wenn man den Ausbau der E-Mobilität zielgerichtet vorantreiben möchte. In diesem Zusammenhang müssen auch finanzschwächere Kommunen berücksichtigt werden. „Wir brauchen ein „flächendeckendes E-Tankstellennetz und Fahrzeuge, die in wenigen Minuten betankt werden können. Unter der Annahme einer Strecke von jährlich etwa 12.500 km, einem durchschnittlichen Verbrauch von 15 kWh für 100 km liegt der anzunehmende Jahresverbrauch eines Elektroautos bei etwa 1.875 kWh. Schon bei einer Million E-Autos sind deshalb 20 bis 30 Prozent zusätzliche Netzleistung erforderlich. ... Ohne Verteilnetze keine Automobilwende.“

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat die Gesellschaft NOW in Berlin (www.now-gmbh.de) ein entsprechendes Programm erarbeitet. NOW ist verantwortlich für die Koordination und Steuerung des „Nationalen Investitionsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP) der Bundesregierung und des Programms „Modellregionen Elektromobilität“. Dieses Förderprogramm, das bis zum Jahr 2019 mit 250 Mio. € unterstützt wird, soll die betreffenden Entwicklungen sicherstellen und dafür auch die jeweiligen Produkte und Maßnahmen unterstützen. So wird NOW beispielsweise den Ausbau der Ladeinfrastruktur im Auftrag des BMVI für 1.200 Normal- und 1.000 Schnell-Ladestationen mit 100 Mio. € fördern. Das NOW-Vorhaben „Elektromobilität vor Ort“ koordiniert und unterstützt die Zusammenarbeit von Industrie, Wissenschaft und öffentlicher Hand, um die „Verankerung der Elektromobilität im Alltag“ voranzutreiben. Gemeinsam mit NOW werden so in acht deutschen Modellregionen durch das Bundesverkehrsministerium entsprechende Entwicklungen aus Mitteln des Konjunkturpakets II gefördert. In jeder Region werden in Absprache mit den Städten unterschiedliche Ansätze mit ebenfalls unterschiedlichen Trägern verfolgt.

In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass im Bereich „Entwicklung von Batterien“ nach Ansicht von Jens Clausen vom Berliner Forschungsinstitut Borderstep in Deutschland die Forschung „ab Ende der 90er Jahre praktisch eingestellt“ worden ist. So werden heute auch vor allem Patente für den E-Antrieb in Japan gehalten. Diese Herausforderung will ein Konsortium aus Fraunhofer-Gesellschaft, Thyssen-Krupp und der Technologieschmiede IAV mit der Gründung des Unternehmens Embatt annehmen.

Nach Auskunft der Bundesnetzagentur nimmt von 2017 an die Anzahl der „Stromtankstellen rasant“ zu. „Binnen eines einzigen Jahres kamen hierzulande 1.900 neue Ladepunkte hinzu.“ Dies ist eine für die E-Mobilität außerordentlich wichtige Entwicklung, denn bisher wurde die fehlende Ladeinfrastruktur als ein Haupthindernis für die Verbreitung von E-Autos gesehen. Erfreulich ist, dass sich diese Entwicklung nicht nur auf die Ballungszentren konzentriert, sondern dass auch im ländlichen Raum zunehmend öffentliche Ladestellen angeboten werden. Allerdings sind Ladestationen im privaten und halböffentlichen Bereich mindestens genauso wichtig. Aus diesem Grunde haben die meisten deutschen Autohersteller im Oktober 2017 ein gemeinsames „Ladesäulen-Unternehmen“ European High Power Charging GmbH & Co.KG gegründet, dessen Ziel – wie die ARD am 8. Nov. 2017 meldete – die möglichst rasche Umsetzung der entspre-

chenden und bereits vorhandenen Ausbaupläne ist. Dieses Joint-Venture Unternehmen der Automobilhersteller BMW-Group, Daimler AG, Ford Motor Company und des Volkswagen-Konzerns firmiert heute unter dem Namen Ionity. Entlang der europäischen Hauptverkehrsachsen sollen öffentlich zugängliche Hochstromladestationen (HPC-Ladestationen mit 350 KW Ladekapazität) aufgebaut und betrieben werden, um die Elektromobilität langstreckentauglich zu machen. Diese Aktivitäten sollen von der EU mit 800 Mio. € unterstützt werden, die in den entsprechenden Ausbau von Stromtankstellen für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge fließen sollen. Leider werden derzeit nur wenige Fahrzeuge am Markt angeboten, welche diese hohen Ladeströme auch verarbeiten und die entsprechenden Batterien auch entsprechend schnell aufladen können.

Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS)

Diese Strategie der Bundesregierung ist die zentrale Plattform für Vorhaben, mit denen die Energiewende im Verkehrssektor bewerkstelligt werden soll. Wichtig ist ihr „technologieneutraler Ansatz“. Die unterschiedlichen Verkehrsträger werden unter dem Gesichtspunkt betrachtet, wie effizientere Antriebe durch welche technischen (Weiter-)Entwicklungen erreicht werden können.



Etwa 13.000 km des von der Bahn verwendeten Schienennetzes in Deutschland sind bisher noch nicht elektrifiziert. Auf diesen Streckenabschnitten wird der Verkehr derzeit mit Diesellokomotiven betrieben. Auf ersten Teilabschnitten werden seit diesem Jahr von Privatgesellschaften auch Elektroloks mit Brennstoffzellenantrieb eingesetzt.

Die ARD meldet am 24. Okt. 2017, dass die Deutsche Bundesbahn die CO₂-Emissionen ihrer gesamten Zugflotte bis zum Jahr 2030 im Durchschnitt halbieren will. Bereits von 2018 an sollen alle ICE-, IC- und EC-Züge vollständig nur noch mit Ökostrom betrieben werden. Es ist darüber hinaus geplant, dass der Ökostromanteil des gesamten Stromverbrauchs bis 2030 auf 70 % ansteigt. Bis spätestens 2050 soll der gesamte Konzern klimaneutral arbeiten.

Derzeit sind vom Gesamtnetz der DB mit 33.000 km etwa 7.000 km nur teilelektrifiziert und 13.000 km sogar noch ohne Elektrifizierung. Diese Strecken werden bisher mit Diesellok-Zügen befahren. Hier soll nun ebenfalls auf andere Antriebssysteme umgestiegen werden.

Die Elektrifizierung der Verkehrsträger muss ergänzt werden durch synthetische Treibstoffe. Diese unterscheiden sich von den aus Erdöl, Erdgas oder Kohle in Raffinerien gewonnenen Treibstoffen meist durch wesentlich komplexere Herstellungsverfahren. Sie können die aus fossilen Rohstoffen gewonnenen Treibstoffe ersetzen und enthalten bei korrekter Herstellung keinen fossilen Kohlenstoffanteil. Der benötigte Kohlenstoffanteil wird in der Form von CO₂ oder von CH₄ (Methan) aus der Atmosphäre oder aus Prozessabgasen gewonnen. Verschiedenartige Treibstoffe, wie auch Benzin, Kerosin und Raketentreibstoffe (Hydrazin) können in den Herstellungsverfahren aus verschiedenen Einzelkomponenten erzeugt werden. Diese Herstellungsprozesse sind teilweise energieintensiv und brauchen daher eine große Menge an elektrischem Strom. Sofern dieser aus erneuerbaren Quellen kommt und die Einzelrohstoffe keine fossilen Komponenten enthalten, sind diese Treibstoffe wenig umweltbelastend. Sie sollten eher dort verwendet werden, wo eine Elektrifizierung aus verschiedenen Gründen nicht möglich ist. Dies trifft vor allem für den Luftverkehr und die Raumfahrt zu. Auch beim globalen Schiffsverkehr könnten diese synthetischen Treibstoffe eingesetzt werden.

Es gibt auch weitere synthetische Treibstoffe, für deren Produktion entweder fossile Rohstoffe oder Biorohstoffe verwendet werden könnten. Schließt man den Einsatz dieser Kraftstoffe wegen ihrer ökologisch überwiegend negativen Auswirkungen aus, so müssen Kraftstoffe wie Wasserstoff, CNG (komprimiertes Erdgas), LNG (verflüssigtes Erdgas) und auch die synthetischen Treibstoffe mit der Hilfe erneuerbaren Stroms erzeugt werden. Daraus wird deutlich, dass eine Energiewende im Stromsektor eine unbedingte Voraussetzung für die Verkehrswende sein muss, wenn man die Ziele der Verminderung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehr erreichen will. Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge müssen zudem künftig unbedingt eine deutlich bessere Energieeffizienz aufweisen. Kleine und einfache Stadtfahrzeuge benötigen derzeit zwischen 14 und 20 kWh je 100 km. Für diesen Fahrzeugtyp mit Verbrennungsmotor liegt ein ungerechter Normverbrauch zwischen etwa 50 und 60 kWh je 100 km.

Die Digitalisierung ermöglicht außerdem durch die Vernetzungsmöglichkeiten eine Ausweitung des „Sharings“ – der gemeinschaftlichen Nutzung von Fahrzeugen. Bekannt sind das „Car-Sharing“ (Autos gemeinsam nutzen), für das es bereits zahlreiche Anbieter gibt, das „Bike-Sharing“ (Fahrräder gemeinsam nutzen), sowie das „E-Scooter-Sha-

ring“ (Elektroroller gemeinsam nutzen). Waren bei der Fahrradnutzung bisher im Wesentlichen in Deutschland nur zwei Anbieter (DB und Netflix) am Markt, so sind seit diesem Jahr eine ganze Reihe anderer, vor allem chinesischer Unternehmen aufgetreten. In China weist diese Nutzungsform bereits heute einen beträchtlichen Marktanteil auf.

Weniger bekannt sind die Formen des „Ride-Sharings“ (Entgeltliche Mitfahrgelegenheiten). Die bekanntesten Ausprägungen in Deutschland sind die gemeinschaftlichen Fahrten zum Arbeitsplatz oder die herkömmliche Vermittlung von Fahrten über eine Mitfahrerzentrale. In der letzten Zeit gibt es zudem die drei folgenden Systeme:

- Online-Mitfahrerzentralen zur Bildung von Fahrgemeinschaften (Beispiel: BlablaCar)
- Online-Plattformen, die Fahrer vermitteln, die wiederum Fahrten in ihrem Privat-Pkw anbieten (Beispiel: Uber)
- Eine „App“, über die der Service von Taxiunternehmen angefordert werden kann (Beispiel: My Taxi).

Allerdings hat diese Entwicklung auch ihre Schattenseiten. So bedrängt - nach Erfahrungen in den USA - die Nutzung von Sharing-Diensten häufig den öffentlichen Nahverkehr. Wie die Frankfurter Rundschau am 28. Okt. 2017 beschreibt, soll deshalb in den großen Städten Kaliforniens - seit der Einführung dieser Dienste - der Nutzeranteil von Bus und Bahn um etwa 6 % abgenommen haben.

Der Fahrzeugnutzung „Ride-Sharing“ kommt möglicherweise künftig die wachsende Bereitschaft der heutigen Gesellschaft für eine gemeinsame Nutzung aller möglichen Güter entgegen. Allerdings muss bei allen Verkehrsarten der „Sharing Economy“ bedacht werden, dass auch durch die Nutzung des Internets bei jeder Nutzung eine gewisse Menge an CO₂ emittiert wird, was auf den starken Strombedarf der Infrastruktur des Internets, seiner Rechenzentren mit Servern, den erforderlichen Rechenkapazitäten für Suchaufträge, sowie der entsprechenden Klimaanlage zurückzuführen ist. Derzeit wird dabei für das Übermitteln einer Nachricht ein Anteil von bis zu 4 g CO₂ erzeugt.

Für bestimmte Fahrzeugarten wie Car-Sharing-Fahrzeuge oder E-Automobile werden derzeit bereits in mehreren Großstädten Abstellflächen ermäßigt oder gar gebührenfrei vorgehalten. Generell dürfte dagegen das Fahren und vor allem das Parken im innerstädtischen Bereich teurer werden. Diese dann hohen Parkgebühren, die derzeit zu teuren Preisen für den ÖPNV aus dem Umland in die Stadtzentren und zurück und die zu den Umlandgemeinden oft zu selten fahrenden Bahnen könnten dafür sorgen, dass künftig weniger Besucher aus dem Umland zu den Geschäften in den Städten fahren.

In manchen Zielprojektionen wird unterstellt, dass der Güterverkehr erheblich zunehmen wird: Von 2005 bis 2050 um etwa 75 %. Die Bundesregierung hat die folgenden Zielvorstellungen für den Gütertransport entwickelt: Dieser soll bis 2035 weitgehend CO₂-frei sein. Bezogen auf den Stand von 2015 wird mit folgender Verlagerung des Güterverkehrs bis zum Jahr 2035 gerechnet:

- **Transport per Lkw: 388,1 Mrd. km**
(Anteil am Güterverkehr nur noch 54,6 % gegenüber 72,8 %)
- **Transport mit der Bahn: 228,5 Mrd. km**
(Zunahme auf 37,2 % gegenüber 18,5 %)
- **Transport per Schiff: 94,1 Mrd. km**
(Zunahme auf 13,2 % gegenüber 8,8 %).

Diese Aussage gilt vor allem für den Güter-Fernverkehr und erscheint ziemlich optimistisch. Wenn nämlich nicht massiv gegengesteuert wird, dürfte sich nur eine ziemlich bescheidene Verschiebung dieses Verkehrs von der Straße auf die Schiene und auf das Schiff erreichen lassen. Zumal die von interessierter Seite betriebene Zulassung von riesigen Lkw-Zügen („Gigaliners“), die an sich schon sehr kritisch zu betrachten ist, dieser Verkehrsverlagerung zusätzlich entgegenstehen würde. Da die Zielprojektionen der Bundesregierung jedoch vorsehen, den Anteil der Bahn am Güterverkehr bis 2050 auf 30 % zu steigern, müsste energisch investiert werden – und dies natürlich vor allem in das über lange Zeit hinweg stiefmütterlich behandelte Schienennetz. Aber auch die technologische Aufrüstung für Verladestationen und Terminals muss wegen des Kombiverkehrs erheblich ausgebaut werden. Außerdem wäre es sinnvoll, den gesamten Gütertransitverkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern und dafür die erforderliche Infrastruktur aufzubauen. Will man den Ausstoß an Treibhausgasen wirklich begrenzen, so muss die Energieeffizienz im Verkehrsbereich wesentlich gesteigert und auf klimagasneutrale Antriebe umgestellt werden. Heute entfällt etwa die Hälfte des Endenergieverbrauchs des gesamten deutschen Verkehrs – allerdings ohne Luft- und Seeverkehr – auf den Güterverkehr.

Aus diesen Gründen hat das Umweltbundesamt in seinem Bericht „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ (Texte 56/2016) die folgenden Minderungsziele für den Endenergieverbrauch vorgegeben: Minderung bis 2020 um 10 % sowie bis 2050 um 40 %, bezogen auf den Verbrauch des Jahres 2005, wenn das sektorübergreifende Minderungsziel von 80 bis 95 % im Jahr 2050 (Bezugsjahr: 1990) erreicht werden soll. Die Berechnungen haben die regenerativen Energieträger mit Null Emissionen belastet. Außerdem wurden neben CO₂ auch die Treibhausgase N₂O und CH₄ bewertet und dies über die gesamte Kette der Energiebereitstellung hinweg. Auch wurden die Auswirkungen des Flugverkehrs oberhalb der Tropopause in einer Zusatzbetrachtung erfasst. Nicht in die Berechnungen einbezogen wurden dagegen die Herstellung, der Unterhalt und die Entsorgung der Fahrzeuge und der für sie benötigten Infrastruktur, weil dies bereits in den entsprechenden UBA-Berechnungen von 2015 und 2013a vorgenommen worden war. Wenn man diese Tatsache berücksichtigt, so schneidet der Pkw- und der Lkw-Verkehr aus ökologischer Sicht noch schlechter ab als bisher betrachtet.

Die benannten Ziele sind durchweg ambitioniert. Der Schwerpunktbereich ist dabei der Güterverkehr. In dem genannten Klimaschutzbeitrag werden daher die wahrscheinlichen Auswirkungen von Vermeidungs- und Verminderungsstrategien sowie von Verbesserungsmaßnahmen (Verkehrswende) und die Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energieträger (Energiewende) breit behandelt. Der Endenergieverbrauch des Verkehrs soll

gleichzeitig durch Effizienzmaßnahmen stark sinken. Die Studie schätzt, dass bei einem sehr energischen Vorgehen - unter Berücksichtigung aller sinnvollen Maßnahmen - ein Potenzial von etwa 50 % eingespart werden könnte. Dies wird als sehr optimistisch betrachtet.



Zwischen Frankfurt und Darmstadt wurden auf der A5 in beiden Richtungen erste Teststrecken von 5 km Länge eingerichtet, auf der LKW mit Stromabnehmern an die Oberleitung andocken und ihre Fahrakkus unterwegs aufladen können. Das Einrichten der Teststrecken kostete etwa 15 Mio. €. Bis Ende 2022 sollen hier Daten zu verkehrs- und energietechnischen, ökologischen und ökonomischen Fragen gesammelt werden, um die beste Variante für den künftigen Schwerlastverkehr auf der Straße zu erkunden.

Will man einen klimafreundlicheren Güterverkehr, so müssen die bisher auf fossile Energieträger angewiesenen Antriebssysteme geändert und auf entsprechende Treibstoffe ohne fossilen Kohlenstoffanteil umgestellt werden. Dazu werden derzeit verschiedenartige Technologien getestet – dazu gehören auch Großversuche der Bundesregierung, bei denen auf den Autobahnen Teststrecken mit Oberleitungen für LKWs aufgebaut wurden, um eine Elektrifizierung des Güterverkehrs auf der Straße zu testen. Die Studie des UBA sieht daher vor allem zwei Technikoptionen für den Lkw-Güterverkehr vor: „Power-to-Liquid“ und „Oberleitungshybrid-Lkw“. Ob sich die Idee mit Oberleitungen über den Autobahnen als eine sinnvolle dauerhafte Lösung durchsetzen kann, müssen die Versuchsergebnisse zeigen. Bezogen auf die zusätzlichen Baukosten für ein Errichten eventuell erforderlicher Oberleitungen und gesonderter Ladespuren auf den Autobahnen kann angenommen werden, dass die entsprechenden Gelder für den strukturellen Ausbau des Güterverkehrs auf der Schiene nachhaltiger investiert würden. Die für den städtischen und durch den Online-Handel stetig wachsenden Zustellverkehr werden dabei Elektro-Kleintransporter vorgesehen, die ebenfalls schon lokal im Ein-

satz sind. In geringem Umfang wird der Zustellverkehr auch durch den Transport via E-Lastenräder ergänzt.

Der ÖPNV - vor allem der schienengebundene Verkehr – wird für eine klimagerechte Stadtentwicklung mitentscheidend sein. Dennoch dürfte der Pkw auch in naher Zukunft dominieren. Durch die Digitalisierung ergeben sich bereits heute neue Möglichkeiten, verschiedene Verkehrsträger zu vernetzen. Diese Möglichkeiten werden stetig ausgebaut werden. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass dazu auch die Energieversorgung des Internets und der Rechenzentren entsprechend ausgebaut werden muss. Es sind auch erhebliche Investitionen in eine weitgehend neue Verkehrs-Binnenstruktur erforderlich, sofern eine Verkehrswende umgesetzt werden soll, die diesen Namen auch verdient. Die notwendigen Investitionen werden auch einen erheblichen Flächenbedarf erfordern, beispielsweise für „Mobilitätsstationen“, für Fahrzeug-Abstellmöglichkeiten bis hin zu Fahrrad-Parkhäusern und Roller-Abstellplätzen, für Einrichtungen einer Ladeinfrastruktur oder für weitere, derzeit noch nicht absehbare Anforderungen.

Im Ergebnis dieser ganzen Zielvorstellungen erhofft man sich im Vergleich mit dem des Jahres 2015 eine deutliche Verringerung des gesamten Energiebedarfs. Demgegenüber steht allerdings die Erkenntnis, dass neue technische Produkte (wie beispielsweise die E-Roller) bisher meist zusätzlichen Energiebedarf erzeugt haben. Soll der Verbrauch an fossilen Energieträgern sinken, wird der Bedarf an erneuerbarer Energie massiv ansteigen. Das Elektro-Auto allein kann daher nicht die Lösung sein. Entscheidend ist, wie der benötigte Strom erzeugt wird. Nach den Prognosen der vom BMVI beauftragten Institute wird der Strombedarf des Personenverkehrs bis 2035 auf 108,6 TWh, derjenige des Güterverkehrs auf 126,4 TWh steigen. Wenn man berücksichtigt, dass der Bruttostromverbrauch im Jahr 2016 in Deutschland 594 TWh betragen hat, zu dem die erneuerbaren Energien „nur“ 106,8 TWh beigetragen haben, so erkennt man, dass der Ausbau der regenerativen Energien unbedingt beschleunigt werden muss, wenn sowohl die Energie- wie auch die Verkehrswende gelingen sollen. Es wird daher auch darauf ankommen, den Bruttostromverbrauch bis 2035 durch Einspar- und Effizienzmaßnahmen entsprechend abzusenken.

Als städtebauliches Ziel wird zudem vorgegeben, dass bis 2035 in den Städten viele Wohnquartiere tatsächlich autofrei sind – inwieweit dabei auch der Liefer- und Umzugsverkehr berücksichtigt ist, bleibt offen. Dafür ist es jedoch erforderlich, den ÖPNV wirklich attraktiv zu gestalten, Car-, Bike- und Ride-Sharing ernst zu nehmen und zu fördern sowie in geeignete Infrastrukturmaßnahmen für den Rad-, Roller-, Rollschuh- und Fußgängerverkehr zu investieren. Man darf auch annehmen, dass Stadtbürger zunehmend auf einen eigenen Pkw verzichten oder zumindest deutlich weniger mit ihm unterwegs sein werden. Hier müsste unbedingt ein Umdenken stattfinden, denn die Vorrangstellung des Autos und die damit verbundene Abhängigkeit von diesem Verkehrsmittel kann so nicht auf Dauer bestehen bleiben. Ansonsten blieben die bekannten Verkehrsprobleme im Grunde weiter ungelöst. Allerdings dürfte es schwer werden,

auf die Annehmlichkeiten der mobilen Unabhängigkeit zu verzichten und ein neues, rationales Verhältnis zum Auto aufzubauen.

Am 9. Nov. 2017 berichten Tageszeitungen (Frankfurter Rundschau und Frankfurter Neue Presse), dass die EU diese Entwicklung hin zum emissionsärmeren Fahren durch neue und schärfere Grenzwerte für CO₂-Emissionen bei Pkw und Lkw beschleunigen will. Dies sei erforderlich, da EU-weit der Verkehr allein für ein Viertel der Treibhausgase verantwortlich sei, so Maros Sefcovic, der damalige Vizepräsident der EU-Kommission. Danach müssen bis 2025 neu zugelassene Fahrzeuge 15 % weniger CO₂ ausstoßen als im Jahr 2021, bis zum Jahr 2030 sogar gar 30 % weniger. So hofft die Kommission, ihr Ziel einhalten zu können, die Emissionen dieser schädlichen Gase bis 2030 um 40 % gegenüber dem Stand von 1990 zu verringern. Zusätzlich soll ein Bonussystem innovative Hersteller fördern. Dieses System bezieht sich auf den durchschnittlichen Flottenverbrauch, der günstiger berechnet werden soll, wenn 2015 mindestens 15 % und 2030 mindestens 30 % der verkauften Fahrzeuge „emissionsarm“ sind. Dagegen konnte vor allem die deutsche Automobillobby offensichtlich ein Quotensystem, wie es in China im Jahr 2019 in Kraft treten soll, verhindern.

Dieses Vorgehen der EU wird generell positiv gesehen, jedoch seine Ausrichtung unterschiedlich beurteilt. So wird von konservativer Seite der „technologieneutrale Ansatz“ begrüßt und verdeutlicht, dass man „nichts von einem Verbot für Verbrennungsmotoren“ halte (Markus Ferber, CSU). Dagegen kritisiert der ökologische Verkehrsclub VCD, dass die Behörde „vor den Autoherstellern eingeknickt“ sei. Er weist darauf hin, dass wir „aus Klimasicht eine CO₂-Reduktion bei Neuwagen von mindestens 60 % bis 2030“ benötigen würden. Zudem lägen die von der EU-Kommission vorgeschlagenen Prozentzahlen „deutlich unter den bisherigen Ankündigungen zahlreicher Hersteller“. Tatsächlich verlangen mehrere Mitgliedstaaten - wie beispielsweise die Niederlande - wesentlich höhere Grenzwerte oder auch die Nullemissionsgrenze bis 2030.

Jens Hilgenberg vom BUND kritisiert, dass mit diesem Vorgehen „bis 2030 noch nicht einmal die Hälfte der nötigen Minderung beim Treibhausgas CO₂ erreicht“ werden könne. Nach den derzeit gültigen EU-Vorschriften darf die Neuwagenflotte eines Autobauers maximal 130 g CO₂/km ausstoßen. Diese Grenze sinkt von 2020 an auf 95 g – dies entspricht einem Verbrauch von 3,6 l Diesel oder 4,1 l Benzin je 100 km. Von 2025 an sollen diese Grenzwerte um weitere 15 % und von 2030 an um 30 % abgesenkt werden. Dies bedeutet, dass der Verbrauch eines Otto-Motorantriebs etwas geringer als 3 l/100 km sein muss. Bei Experten besteht übrigens kein Zweifel, dass diese Grenzwerte für die Autobauer ohne allzu große Anstrengungen zu erreichen sind. Zudem darf auch bei den Messungen wie bisher schon „legal“ getrickt werden, weil mit etwas veränderten Vorgaben abermals nur auf dem Prüfstand gemessen werden soll. Auch dürfen weiterhin „speziell präparierte Pkw eingesetzt“ werden. Daraus wird von der Frankfurter Rundschau am 9. Nov. 2017 der – fatale – Schluss gezogen, dass man auch bei der „Entwicklung der nächsten und der übernächsten Modellgeneration unvermindert auf Verbrennungsmotoren“ setzen kann.

Außerdem hat die EU Förderprogramme zum Aufbau von Batteriefabriken in Europa aufgelegt. Durch diesen Kraftakt soll der deutliche Rückstand gegenüber der Konkurrenz aus Asien aufgeholt werden. Die meisten Batteriezellen werden heute schon in China produziert, aber auch japanische und südkoreanische Unternehmen sind in diesem Bereich technologisch führend.

Für die Weiterentwicklung der verschiedenartigen Antriebstechnologien des Pkw-Verkehrs werden derzeit drei große Gruppen betrachtet:

- Möglichkeiten, die konventionellen Antriebe und Kraftstoffe weiter zu entwickeln
- Batteriebasierte und hybrid-elektrische Antriebssysteme;
- Antriebssysteme mit Brennstoffzellen-Technik.

Zur Weiterentwicklung konventioneller Antriebe und Kraftstoffe

Die ehemalige Präsidentin des Umweltbundesamtes ist zwar der Ansicht: „Der Diesel kann sich also in 10 bis 15 Jahren erledigt haben. Er ist definitiv ein Auslaufmodell. Die Zukunft wird vermutlich elektrisch sein.“ Doch sind viele Ingenieure der Überzeugung, dass man die konventionellen Antriebssysteme und Kraftstoffe erheblich weiter entwickeln könne, so dass sie zwar durchaus nicht als baldiges „Auslaufmodell“, aber doch als „Brückentechnologie“ zu betrachten wären – und dies deutlich über 2030 oder gar 2040 hinaus. Außerdem setzt die komplette Verkehrswende eine umfassende Energiewende voraus. Da nicht sicher sein dürfte, ob für die angestrebte Verkehrswende ausreichend regenerativer Strom bereitgestellt werden kann, erscheint ein Nebeneinander auf Zeit zwischen den konventionellen und verschiedenartigen elektrischen Antriebssystemen durchaus im Bereich des Möglichen, wenn nicht gar des Wahrscheinlichen zu liegen.

Wie die Frankfurter Rundschau am 4. Aug. 2017 berichtet, ist Wolfgang Schäfer – Vorstandsmitglied des Autozulieferers Continental – der Ansicht, dass die „nächste Generation Verbrennungsmotoren auch die letzte sein wird“. Die meisten Autobauer würden etwa bis 2023 nur noch eine Motorengeneration mit Kraftstoffantrieb entwickeln. „... aber danach wird dann wahrscheinlich eine solche Weiterentwicklung gar nicht mehr wirtschaftlich vertretbar sein“. Der ADAC-Experte Gerwens sieht ebenfalls noch eine Zukunft des Diesels, allerdings nur bei den Wagen der Mittel- und Oberklasse. Kleinere Pkw seien nicht in der Lage, das zusätzliche Gewicht der Anlagen, die für eine weitere Minderung des Ausstoßes an Stickoxiden erforderlich sind, aufnehmen zu können.

Auch wird darauf hingewiesen, dass die Produktion von E-Autos ökologisch und sozial nicht unproblematisch sei. Dies trifft vor allem auf die Herstellung der Batterie zu, für die als Rohstoffe Lithium, Kobalt, Nickel und Graphit, sowie im Produktionsprozess viel elektrische Energie benötigt werden. Hochgerechnet auf die von der Industrie geplanten Verkaufszahlen könnten diese Rohstoffe auch knapp werden, sodass bereits von einem internationalen Wettlauf um die Rohstoffe berichtet wird.

Über den „Sprit der Zukunft“ berichtete die Frankfurter Rundschau am 12. Jul. 2017. Inzwischen gibt es verschiedene Methoden und Versuchsanlagen, mit denen CO₂ als Rohstoff aus der Atmosphäre zurückgewonnen werden kann. In Kanada, in der Schweiz und in Island werden solche Anlagen bereits betrieben, in Karlsruhe wird derzeit eine weitere Versuchsanlage konzipiert, mit der direkt auch Treibstoffe hergestellt werden sollen. In Island wird das zurückgewonnene CO₂ zur Endlagerung wieder in den Untergrund zurückgeführt. Wenn regenerativ erzeugter Strom wesentlich billiger werden sollte, was angenommen werden kann und wenn dieser sinnvoll genutzt werden soll, bietet sich auch die Produktion von sogenannten E-Fuels an. „Sektorenkopplung heißt das Zauberwort“, wenn regenerativ erzeugter Strom auch dafür eingesetzt wird, für andere Sektoren im Energieverbrauch entsprechend benötigte Produkte (beispielsweise Treibstoffe) herstellen zu helfen.

Ein anderes E-Gas – synthetisches Methan, das „ebenfalls durch die Synthese von H₂ und CO₂ entsteht und hochwertiger als fossiles Erdgas ist“, wird bereits seit längerem von Audi im Kfz als Kraftstoff eingesetzt. Dazu erzeugt dieser Hersteller „seit 2013 überdies im niedersächsischen Werlte solches E-Gas mittels Windstrom“.

Auch die Fa. Sunfire aus Dresden, „hat gerade einen Dauertest über 1500 Stunden absolviert und dabei gut drei Tonnen des Erdöl-Substituts hergestellt. ... Tests haben die Premieigenschaften des Treibstoffs bestätigt. Das synthetische Diesel verbrenne nahezu ruß- und schwefelfrei. E-Fuels hätten den großen Vorteil, dass sie konventionellen Kraftstoffen problemlos beigemischt werden“ können. Allerdings ist die Produktion dieser Treibstoffe doch etwas teurer als der derzeit sehr günstige konventionelle Treibstoff. Der Leiter der E-Gas Betreibergesellschaft bei Audi, Dr. Herrmann Pengg stellt dazu fest, dass „der größte Kostenfaktor bei der Produktion von E-Fuels aus Strom ... die Investitionskosten für neue Elektrolyseanlagen sind. Würden sie in größerer Zahl gebaut, würden die Kosten stark sinken“.

Peter Kasten vom Öko-Institut gibt allerdings zu bedenken, dass man „beim Einsatz von E-Gas für die gleiche Leistung fünf- bis siebenmal so viel Strom“ benötigen würde.“ Bei „E-Fuel habe man es gar mit dem Faktor sechs bis acht zu tun. Autos, die erneuerbaren Strom direkt, ohne Umwandlungsprozesse nutzen, sind klar im Vorteil.“ E-Fuels würden daher erst dann interessant werden, wenn „die Erneuerbaren ... einen Anteil von mehr als 60 Prozent und mehr am Strommix haben. Dann erst falle billiger Überschussstrom in der benötigten Menge an“. Die Frankfurter Rundschau hat am 26. Aug. 2017 darauf hingewiesen, dass das E-Auto auch bei ungünstigen Annahmen Vorteile gegenüber dem Diesel aufweise.

Die synthetischen Treibstoffe – die E-Fuels – sollten allerdings zunächst dort eingesetzt werden, wo aus verschiedenen Gründen Treibstoffe aus fossilen Energieträgern derzeit nicht ersetzt werden können. Dies betrifft zuerst die zivile Luftfahrt, wo synthetisches Kerosin ein Verbreiten von fossilem Kohlenstoff in der Atmosphäre durch den Flugverkehr verhindern könnte. Dort werden allerdings große Mengen an Treibstoff benötigt. So werden allein am Flughafen Frankfurt im Durchschnitt täglich etwa 15.000 m³ Kero-

sin getankt, die mit diesen Treibstoffen nur noch rezenten Kohlenstoff enthielten. Ein weiterer Nutzer für E-Fuels sollte sowohl der Binnen-Schiffsverkehr, als auch der See- und Hochseeschiffsverkehr sein. Würden alle hier genannten Verkehrssparten mit den erforderlichen Mengen an E-Fuels versorgt, stünden wahrscheinlich für den Verkehr auf der Straße zunächst keine solchen Treibstoffe mehr zur Verfügung. Glücklicherweise gibt es aber für den Straßen- und den Bahnverkehr auch weitere technische Alternativen für die saubere Mobilität: Mit der Wasserstofftechnik und der Brennstoffzelle kann der benötigte Fahrstrom im jeweiligen Fahrzeug selbst erzeugt werden.



Der Flugverkehr gehört zu den Bereichen, die derzeit nicht elektrifiziert werden können, da die Energie zum Fliegen mit tonnenschweren Verkehrsflugzeugen elektrisch nicht zur Verfügung gestellt werden kann. Um die erforderliche Antriebskraft der Triebwerke zu erreichen wird die thermodynamische Wirkung des Verbrennungsprozesses benötigt. Diese kann sogar besser mit synthetischen Kraftstoffen erreicht werden, die keinen Anteil an fossilem Kohlenstoff mehr enthalten. Dazu bräuhete es schnellstmöglich genügend große Produktionskapazitäten für diese Kraftstoffe, um über den Luftverkehr keinen fossilen Kohlenstoff mehr in die Atmosphäre einzutragen.

In der Diskussion um das Elektrifizieren des Straßenverkehrs wird immer wieder darauf verwiesen, dass im deutschen Strommix fossile Energieträger immer noch dominieren. Auf diesem Wege würden im Schnitt 530 g CO₂ je kWh erzeugt. Solange der bisherige Mix bestehen bleibt, schneiden E-Autos in dieser Ökobilanz noch leicht besser als Diesel-Pkw ab. Sollte aber ein Boom bei den E-Autos eintreten, würden vermehrt wieder Steinkohle- und Gaskraftwerke ans Netz gehen. Deshalb würde sich nach Berechnungen des Heidelberger Umwelt- und Prognose-Instituts (UPI) der Ausstoß an CO₂ bei E-Autos auf etwa 810 g/kWh erhöhen. Damit würde ein deutlich höherer Emissionswert als bei Kfz mit konventionellem Antriebssystem erreicht werden. Es wird also entscheidend darauf ankommen, den Anteil des regenerativ erzeugten Stroms am Strommix möglichst rasch zu steigern, wenn man eine wirkliche Verkehrswende und zugleich eine Entlastung beim Treibhausgas-Ausstoß allein mit Hilfe der Elektrifizierung des Straßenverkehrs erreichen möchte.

Auch werden Beschleunigungsbremsen für E-Autos als notwendig erachtet, da diese erheblich spurtstärker als Autos mit Verbrennungsmotor sind und zudem fast geräuschlos fahren. Neben dem Problem für die Verkehrssicherheit kosten die rasanten Spurts Energie, erzeugen einen höheren Verschleiß an den Fahrbahndecken und mehr Feinstaub durch einen höheren Reifenabrieb. Um E-Autos wirklich klimaverträglich und sparsam zu machen, müssten Effizienzstandards eingeführt und ihr Beschleunigungsvermögen gedrosselt werden.

Florian Hacker vom Öko-Institut weist darauf hin, dass „schon heute, allen Unkenrufen zum Trotz, E-Fahrzeuge über den Lebenszyklus einen Klimavorteil“ ausweisen und dies selbst dann, wenn man den höheren Energieaufwand bei der Herstellung von Batterien berücksichtigt. „Und der wird durch die zunehmende Erzeugung von Ökostrom von Jahr zu Jahr größer“. Da die EU beschlossen hat, dass die Emissionen neu zugelassener Pkw vom Jahr 2020 an nur noch 95 g CO₂ / km betragen dürfen, betont selbst der Verband der Deutschen Industrie (VDA), dass „ohne ein Hochfahren der E-Mobilität die nachfolgenden Klimaziele nicht zu schaffen“ seien. In den entsprechenden Aufsätzen werden jedoch allein batterieelektrische Fahrzeuge angesprochen – andere Konzepte zum Versorgen der Elektromotoren mit elektrischem Strom werden eigenartigerweise nicht erwähnt und daher totgeschwiegen.

Der Sunfire-Manager Nils Aldag hält dagegen: „Das Thema darf nicht allein nach Effizienzkriterien betrachtet werden, es hat auch eine industriepolitische Komponente. Deutschland hat bei der Elektrolyse eine weltweit führende Stellung. Wenn wir diese nicht verlieren wollen, muss diese Technologie zügig weiterentwickelt werden.“

In diesem Zusammenhang ist wichtig zu sehen, dass es außer E-Fuels noch keine Alternative zu den derzeitigen flüssigen Kraftstoffen gibt. Außerdem hat dieser synthetische Kraftstoff zwei große Vorteile: Er ist von einer hohen Energiedichte und kann vergleichsweise problemlos transportiert werden. Das prädestiniert ihn für zwei wichtige Einsatzfelder: für den Flugverkehr und die Seeschifffahrt“.

Für den Kraftfahrzeugverkehr - und hier vor allem für den Anteil, der nicht allein in den Großstädten und den Ballungszentren fließen wird – könnten auch weitere Antriebstechniken angesprochen werden. Hierbei sollten vor allem die Techniken angesprochen werden, bei denen der benötigte Fahrstrom im Fahrzeug selbst erzeugt wird. Dies trifft beim Elektroantrieb über die Brennstoffzelle zu. Auch dieses Antriebskonzept wird weiter entwickelt und braucht bald ebenfalls eine entsprechende Infrastruktur mit Tankstellen, die den jeweils benötigten Treibstoff anbieten.

Batterie-basierte und hybrid-elektrische Antriebssysteme

Alle großen Autobauer haben für den Herbst 2019 neue Modelle mit Elektromotoren angekündigt. Sie werden einerseits von der Entwicklung auf den Märkten und dies vor allem im größten Markt in China angetrieben. Andererseits treibt sie auch der amerikanische Außenseiter Tesla, der sich Entwicklungsmanager aus Europa geholt hat und inzwischen zum einem Marktführer in diesem Segment geworden ist. „Die Zeit“ beschrieb

dieses E-Auto am 14. Sep. 2017 in erster Linie als ein „Smartphone auf Rädern: Batteriebetrieben, lautlos und komplett vernetzt“. Möglicherweise könnte der Automobilbau deutlich früher auf E-Autos umgestellt werden, als sich sehr viele dies heute noch vorstellen könnten. Nahezu alle Hersteller investieren enormes Kapital in diesen Markt, den sie als Zukunftsmarkt sehen.

China ist schon heute der größte Markt für batteriebetriebene E-Autos. Das Land leidet enorm unter der schlechten Luftqualität, an deren Folgen mehr als 1 Mio. Chinesen pro Jahr sterben sollen. Wie ein Artikel in „Die Zeit“ („Sie setzen ein Volk unter Strom“) vom 2. Februar 2017 beschreibt, soll eine elektronische Revolution des Verkehrs den absehbaren ökologischen Kollaps verhindern. Daher sollen drei chinesische Großkonzerne mit Hilfe von zwei erfahrenen deutschen Managern und Topentwicklern das „E-Auto des 21. Jahrhunderts“ entwickeln. Es soll vernetzt und massentauglich sein und in der High-tech-Metropole Chinas – in Shenzhen – gebaut werden. Tesla hat die Zeichen der Zeit erkannt und inzwischen ein Joint Venture zur Produktion von 100.000 Tesla-E-Autos pro Jahr geschlossen. Die Produktion soll in einer Freihandelszone bei Shijiazhuang erfolgen – einer Industriemetropole, die landesweite Rekorde in puncto Verschmutzung aufgestellt hat und weiter aufstellt.

In einem weiteren Artikel in „Die Zeit“ („Es blitzt im Norden“) vom 11. Mai 2017 wird Norwegen als das „Paradies für Elektroautos“ beschrieben. Hier haben E-Autos weltweit den höchsten Marktanteil. Nirgends werden sie auch so konsequent gefördert. Opel, dessen Firmenlogo bekanntlich der Blitz ist, hat sich hier mit seinem Ampera-e bereits gut platziert. Dies nicht zuletzt deshalb, weil dieses Fahrzeug dank seines Spezialakkus mit einer Aufladung fast doppelt so weit kommt wie vergleichbar große Modelle. Norwegen setzt auf das „polluter pays-Prinzip“, wonach der ökonomische Vorteil bei einem Auto mit geringem Schadstoffausstoß stets größer sein muss als bei einem Auto mit höheren Emissionen. Daher fuhren Ende Anfang 2018 in diesem Land etwa 6 % der Pkw mit batteriebetriebenen Elektro-Motor. Zum Vergleich: In Deutschland liegt der entsprechende Anteil bei 1,9 %. Da die elektrische Energie in Norwegen zu 98 % regenerativ aus Wasserkraft erzeugt wird, fahren diese E-Autos tatsächlich annähernd klimaneutral.

Die meisten deutschen Hersteller haben bereits E-Autos entwickelt. In einem Artikel der Frankfurter Rundschau vom 04. November 2017 kooperieren BMW, Daimler, Ford und die VW-Gruppe mit dem Joint Venture Ionity beim Ausbau der Infrastruktur für die Elektromobilität. In erster Linie ist der Ausbau leistungsstarker Schnellladesäulen an den Autobahn-Raststätten geplant. Bis 2020 sollen 400 derartige Ladestationen in Betrieb sein. Verwendet wird dazu ein von allen Unternehmen eingebauter Ladestandard CCS mit einer Leistung von bis zu 350 kW. Das Geschäftsmodell sei, schnelles Laden gegen digitale Bezahlung. Außerdem würden damit die E-Autos „langstreckentauglich“ werden. Allerdings soll es bislang noch kaum Modelle geben, die so viel Elektroenergie überhaupt auf einmal aufnehmen können. In diesem Zusammenhang gilt Bayern in der Bundesrepublik als Vorreiter. Bis 2020 sollen dort bereits 7.000 öffentliche Ladestationen für E-Autos installiert werden.

Ein weiteres Problem scheint in der begrenzten Lebensdauer der derzeitigen Batterien zu liegen, wenn sie ständig entladen und wieder aufgeladen werden. Die Angaben der Lebensdauer für Akkus schwanken zwischen 5 und 10 Jahren. Bei den hohen Gesteungskosten für „Pack“-Batterien wäre dies ein zusätzliches ökonomisches Problem. Daher bieten auch einige Hersteller anscheinend statt des Kaufs eines Akkus eine Miete und den entsprechenden Aukku-austausch an.

Das Hauptproblem, wenn man den Aktionsradius batteriegetriebener Fahrzeuge erheblich vergrößern möchte, stellt die Leistungsfähigkeit der Batterie dar. Ihre Reichweite wird weithin als ungenügend betrachtet und ihre Ladezeit als zu lang. Am 12. Mai 2017 berichtet die Frankfurter Rundschau: „In heutigen Elektroautos stecken je nach Modell Hunderte bis Tausende separate Batteriezellen, von denen jede mit einem Gehäuse umhüllt und mit Leitungen bestückt ist. Gehäuse und Kontaktierung verschlingen dabei gut die Hälfte des Bauraums. Durch diese Bauweise entstehen zudem elektrische Widerstände, die auf die Leistung drücken. Diese als „Pack“ bezeichneten Batterien weisen daher ein erhebliches Gewicht von über 100 bis zu 200 kg auf. Sollten die Produktionszahlen wirklich anschwellen, werden die dafür benötigten Batterien zum logistischen Problem. Sie sind schwer und müssten aufwendig um die halbe Welt zu den heimischen Autowerken transportiert werden“.

Für einen Transport müssen die Spediteure die Lithiumbatterien als Gefahrgut deklarieren. Sie werden durch die Transportversicherungen als leicht entzündliche Stoffe eingestuft und unterliegen je Transport besonderen Transportbeschränkungen. Diese betreffen sowohl Mengenbegrenzungen, als auch besondere Lagerungsvorschriften während des Transports. Dies wird auch daran erkennbar, dass inzwischen die Verbände der Fluggesellschaften immer restriktivere Vorschriften für das Mitnehmen von Lithiumakkus im Gepäck oder an Bord durchsetzen. Deshalb wird darüber verhandelt, ob vor allem die chinesischen Batteriezellenhersteller dazu bereit sind, die Batterien in räumlicher Nähe zu den Autoherstellern zu fertigen und in Europa entsprechende Werke aufzubauen. Außerdem werden in der EU verschiedene Verhandlungen darüber geführt, ob sich auch europäische Konsortien als Hersteller finden, die an verschiedenen Standorten in Europa entsprechende Fabriken aufbauen und betreiben wollen, um nicht einseitig bei einer Schlüsseltechnologie in Abhängigkeiten zu geraten.

Aus der Summe dieser Einzelheiten ergibt sich derzeit ein recht hoher Preis im Bereich zwischen 15.000 und 20.000 € für eine Batterie-Packung, der allerdings mit der Ausweitung der Serienproduktion möglicherweise entsprechend abgesenkt werden kann. Der Autoexperte Ferdinand Dudenhöffer rechnet damit, dass bis zum Jahr 2025 Preise zwischen 1.500 und 2.000 € je Batterie-Packung erreichbar sein könnten. „Dann sind wir so weit, dass ein Elektrofahrzeug oder ein Hybridfahrzeug so teuer ist wie jetzt ein Diesel oder Benziner“. Es wird also darauf verwiesen, dass gerade bei den Batterien der Fortschritt rasant verlaufen würde. Mit Hochdruck wird weltweit an neuen Batterien geforscht. So wurde in letzter Zeit eine Verdoppelung der Energieleistung pro kg Gewicht im Zeitraum von jeweils 2 bis 3 Jahren erreicht. Es ist schwierig, erheblich höhere Energiedichten zu erreichen, ohne die Sicherheit infrage zu stellen. Kommen Anode (Plus-

pol) und Kathode (Minuspol) auch über eventuelle mechanische Beschädigungen der batterieinternen Leitungen in Kontakt, so entstehen sehr hohe Temperaturen, so dass ein Brand ausgelöst werden kann.

Nach einem Bericht der Frankfurter Rundschau vom 23.03.2017 sind Tesla, Samsung und Panasonic im Bau von Batterien weltweit führend. So wollen die Firmen Tesla und Panasonic in einer Kooperation rund 5 Mrd. US \$ in eine „Gigafactory“ in Nevada investieren, in der modernste Akkus für Tesla hergestellt und von 2020 an ausgeliefert werden sollen. „Das wohl ehrgeizigste Projekt ist Teslas Modell 3. Im Unterboden des Fahrzeugs sind 3.000 bis 4.000 Lithium-Batteriezellen mit Speicherkapazitäten zwischen 50 und 78 kWh eingebaut. Tesla will damit den Durchbruch der Elektromobilität auf dem automobilen Massenmarkt erreichen. Langstreckentests auf Autobahnen ergaben bei Tempo 130 eine Reichweite von etwa 335 km. Danach war – je nach Ladesäule - eine längere Ladepause erforderlich. Experten schätzen, dass momentan mehr als ein Dutzend derartiger Gigafabriken in der Planung oder bereits im Bau sind. Als Folge wird davon ausgegangen, dass der „Preis der Batterien pro kWh bis 2025 auf rund 100 US \$ sinken kann“ meint Axel Thielmann. „Derzeit ist er noch mehr als doppelt so hoch“.

Dabei stellt sich allerdings die Frage, ob die derzeit geplanten Produktionskapazitäten auch mit den dafür erforderlichen Rohstoffmengen beliefert werden können, oder ob die derzeit bekannten Rohstoffvorräte dafür überhaupt ausreichen. Zudem muss ebenfalls bedacht werden, dass inzwischen die Zugriffsrechte auf diese Rohstoffvorkommen durch verschiedenartigste Vereinbarungen abgesichert wurden und die Gewinner wie auch die Verlierer dieses Verteilungskampfes längst feststehen.

Ein weiteres Problem ist in diesem Zusammenhang der weitgehend unökologische Herstellungsprozess der Batterien wie auch das Recycling der Akkus. Es sei hier nur auf das Problem der „Seltenen Erden“ verwiesen, die für die Herstellung benötigt, aber in Europa nur in einem sehr geringen Umfang gefördert werden können. In dieser Hinsicht hängt man fast vollständig von Importen und damit von der Bereitschaft der wenigen Staaten ab, in denen diese Rohstoffe vorkommen. Diese Länder liegen in Übersee und sind zudem häufig eher instabil (beispielsweise die Republik Kongo). Auch bei der Förderung und Aufbereitung von Kupfer, Nickel, Kobalt und Lithium treten massive Umweltprobleme und zusätzlich auch soziale Probleme auf.

Dabei wird beispielsweise gerne übersehen, dass in diesem gefährlichen Geschäft häufig Kinder beschäftigt werden, und dies schon im Alter von etwa sieben Jahren an, in dem Kinder eigentlich zur Schule gehen und lernen sollten. Nach einer Schätzung des UN-Kinderhilfswerks arbeiten allein in den Kobalt-Minen des Süd-Kongos mindestens 40.000 Kinder unter erbärmlichen Bedingungen. Mehr als die Hälfte des global gehandelten Kobalts stammt aus diesen Minen. Kobalt wird auch in den Batterien von batteriebetriebenen Elektroautos verwendet.

Aus Sicht der Kunden weisen die meisten deutschen E-Autos bisher folgende – oft als gravierend empfundene - Nachteile auf:

- **Zu geringe Reichweite:** Derzeit liegt sie für die teuersten Modelle bei etwa 350 km. Es wird jedoch angesprochen, dass in absehbarer Zeit höhere Reichweiten von bis zu 1.000 km möglich sein sollen. Beim heutigen E-Pkw handelt es sich daher eher um Autos für den innerstädtischen Verkehr oder für den Verkehr in Ballungsgebieten. Dies bedeutet auch, dass diejenigen Familien, die dem Ruf der Industriebetriebe nach größtmöglicher Flexibilität nachgekommen sind und einzelne Mitglieder auch weit entfernte Arbeitsplätze akzeptiert haben, mit den Elektroautos auch noch dafür bestraft werden sollen, indem eine Heimfahrt über ein Wochenende aufgrund der Ladezeiten unterwegs oft zu lange dauern würde. Die Frankfurter Rundschau vom 12. Mai 2017 berichtet über ein Konsortium aus Fraunhofer-Gesellschaft, Thyssen-Krupp und der Technologieschmiede IAV, welches an einer neuen Batterie – Embatt - arbeitet. Sie soll folgende Eigenschaften aufweisen: „vorzugsweise gebaut in Deutschland, mit geplanten 1.000 km Reichweite“. Ein weiterer Vorteil wird darin gesehen, „dass Embatt auf die Recyclingfähigkeit der Batterien angelegt ist und ohne Materialien auskommt, bei denen Engpässe vorprogrammiert sind, wenn die Massenproduktion beginnt. Gehäuse und Kontakte sollen dabei überflüssig werden. So passen erheblich mehr Batterien in ein Auto. Auch wird der elektrische Widerstand erheblich reduziert. Derzeit wird damit gerechnet, dass diese „Wunderbatterie“ bis 2020 für erste Tests in Fahrzeugen zur Verfügung steht. 2024 könnte dann die Serienproduktion anlaufen.
- **Zu lange Ladedauer:** Bei einem Stadtauto kann über Nacht dezentral geladen werden. Die Lademöglichkeit muss dann dort gegeben sein, wo das Auto steht. Heute dauert das Aufladen - je nach Ladeelektronik im Fahrzeug und Kapazität der Batterie - an einer 11-KW-Wechselstromladesäule mehrere Stunden. Für den Betreiber ist damit der finanzielle Vorteil, der auf 5 bis maximal 10 € geschätzt wird, zu klein. Es wird erwartet, dass sich mit der Weiterentwicklung der Batterien auch eine Ladezeit von etwa 10 Minuten erreichen lässt. Dabei muss bedacht werden, dass eine Gleichstrom-Ladeelektronik im Fahrzeug derzeit den Kaufpreis des Fahrzeugs erheblich verteuert, da diese Ladetechnik bisher nur für die teureren Modelle angeboten wird.
- **Zu hoher Preis:** Derzeit kostet ein E-Auto etwa 50 % mehr als ein entsprechendes Auto der gleichen Klasse mit Verbrennungsmotor. Es darf allerdings davon ausgegangen werden, dass sich mit dem Übergang zu einer Massenproduktion die derzeitigen Preise erheblich reduzieren werden, zumal die Herstellung der Autos selbst wesentlich kostengünstiger als bisher gestaltet werden kann.

Für die Elektroautos stellt sich auch die Frage nach der gesetzlich erforderlichen Versicherung. Im Vergleich zu den Versicherungen der Autos mit Verbrennungsmotor scheinen sich derzeit keine großen Unterschiede zu ergeben. Dies ist zunächst nicht verwunderlich, da es sich in beiden Fällen um Fahrzeuge und die damit verbundenen versicherungstechnischen Fragen handelt. Gleichzeitig sagen die Versicherungsgesellschaften auch, dass sie zu diesen Fahrzeugtypen bisher nur auf eine recht geringe Datendichte zurückgreifen können. Das teuerste Bauteil eines Elektroautos, die Batterie, ist bei den

gesetzlich geforderten Haftpflichtversicherungen allerdings nicht mitversichert. Dies wird bei den Versicherungsgesellschaften erst zusammen mit einer Vollkaskoversicherung angeboten. Auch hierbei stehen den Versicherungsgesellschaften bisher nur wenig Daten zur Verfügung und in den Bedingungen wird bisher nicht auf Schäden eingegangen, die durch Fehlfunktionen der Akkumulatoren entstehen können. Bisher haben interne Analysen der verfügbaren Schadensfalldaten noch kein vollständiges Bild des Versicherungsrisikos abgebildet.

Eine Mischtechnologie und eine Art Vorstufe zum rein batteriegetriebenen Auto ist das Hybrid-Elektro-Auto. Hierbei wird ein herkömmlicher Verbrennungsmotor (Otto- oder Dieselmotorantrieb) durch einen Elektromotor unterstützt. Dies kann so konzipiert sein, dass ein Akkumulator über den Verbrennungsmotor immer wieder aufgeladen wird, oder dass der Fahrstrom durch Aufladen des Akkumulators an der Steckdose geladen wird und der Verbrennungsmotor für einen anderen Betriebsmodus eben auch als Antriebsmotor benutzt wird. Diese Autos „tanken“ dann sowohl an der Tankstelle, als auch an der Steckdose. Da die verbauten Akkukapazitäten meist eher klein sind, ist diese Autokategorie auch wesentlich preisgünstiger als ein reines Elektroauto.

Es gibt inzwischen eine Reihe unterschiedlicher Technologien für diese Hybrid-Antriebe, die vor allem von japanischen Firmen zuerst entwickelt und unterstützt wurden. Inzwischen werden hybride Antriebe auch beim Schienen- und Schiffsverkehr eingesetzt. Eine EU-Rahmen-Richtlinie aus dem Jahre 2007 (2007/46/EG) „zur Genehmigung von Kfz ... sowie von Systemen ... für diese Fahrzeuge“ stellt die gesetzliche Grundlage für derartige Entwicklungen in der EU dar. Neuerdings werden von Daimler auch solche Mischsysteme als Hybridantriebe mit Brennstoffzelle und „Plug-In-Fahratterie“ angeboten.

FiWiSo-Allianz**sele im Juli 2019**

Bilder: copyright rnl

Fortsetzung in: Verkehrswende – Teil 3 (mit Literaturhinweisen)*(bitte auf folgender Seite unten öffnen)*<https://www.fiwiso-allianz.de/162>