

**Dr. Gustav Krüger**



**Zukunft ist übermorgen  
Die Elektromobilität**



Dr. Gustav Krüger

# **Zukunft ist übermorgen**

Die Elektromobilität

Herausgeber:  
DIE DEUTSCHEN KONSERVATIVEN e.V.  
Sonderausgabe des Deutschland-Magazin

1. Auflage August 2017

Alle Rechte bei:  
DIE DEUTSCHEN KONSERVATIVEN e. V.  
Sonderausgabe des DEUTSCHLAND-Magazin  
Beethovenstraße 60 – 22083 Hamburg  
Telefon: 040 - 299 44 01 – Telefax: 040 - 299 44 60  
[www.konservative.de](http://www.konservative.de) – [info@konservative.de](mailto:info@konservative.de)

Spenden-Konto:  
Postbank – BLZ 200 100 20 – Konto-Nr.: 333 33 205  
IBAN: DE 86 2001 0020 0033 3332 05 – BIC: PBNKDEFF

Druck:  
SZ-Druck & Verlagsservice GmbH – Urbacher Straße 10 – 53842 Troisdorf

Gestaltung des Umschlags:  
Murat Temeltas

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Für wen?	6
2. PS wird KW	7
3. Elektrischer Rückspiegel	10
4. Nicht abschalten!	16
5. Risiken und Nebenwirkungen	22
6. Ende gut – Alles gut	25
7. Eine Weltausstellung weist den Weg	26
8. Der Außenseiter	27
9. Wo ist die nächste E-Tankstelle?	29
<b>Der Autor</b>	<b>31</b>

# Zukunft ist übermorgen – Die Elektromobilität

## 1. Für wen?

Für jeden. Niemand kann sich entziehen. Fast täglich findet man in den Medien etwas über das Auto mit Elektromotor. Da ist jeder angesprochen. Da gibt es Fragen. Da gibt es Leute, die mehr wissen wollen. So manches ist nicht leicht verständlich. Das soll erklärt werden durch Vergleiche mit Bekanntem. Und dann gibt es Leute, die schon alles wissen. Die werden herausfinden, was da nicht stimmt. Vergleiche eben, nicht das Original.

Für jeden, der die Absicht hat, sich ein Elektroauto anzuschaffen. Ein Elektroauto ist kein Elektrofahrrad, das auch Pedale hat, und mit dem man nie wegen einer leeren Batterie stehenbleiben wird. Ein Elektroauto hat keinen zweiten Antrieb. Dann sollte man sich für ein Hybridauto entscheiden. Das soll getrennt behandelt werden.

Ein Elektroauto hat gegenüber einem Diesel oder Benziner zweifellos Vorteile. Die sollen ausführlich und für jeden verständlich diskutiert werden. Jeder soll verstehen, ob und wieweit sie wirklich Vorteile sind. Wie ist es mit den laufenden Kosten, wo sind Vorteile, wo kann es teuer werden? Wo braucht man eine Werkstatt, und wo findet man sie? Elektrizität ist nicht ganz ungefährlich, besonders wenn sie so leistungsstark ist wie in einem Elektroauto. Fachwissen ist da gefragt, und doch soll die Erklärung für jeden verständlich sein. Da geht es auch um Vergleiche, die den Kern der Sache treffen, aber eben nicht alles und jedes.

Die Schrift ist für jeden, der sich kein Elektroauto anschaffen will, wenigstens zur jetzigen Zeit. Keine Anschaffung trotz der zugesagten Prämie, solange das Geld dafür reicht. Ein Elektroauto ist teuer, schon wegen der Batterie, und in der Regel nicht billiger als ein Auto mit konventionellem Antrieb. Elektrizität ist gegenüber Benzin oder Diesel billig. Aber wenn der Strom immer teurer wird?

Jeder, der trotz der Prämie mit der Anschaffung eines Elektroautos zögert, hat dafür seine Gründe. Das betrifft nicht nur die Einschränkungen wegen der mangelnden Reichweite, nicht nur die fehlenden Ladestationen. Auch im Komfort gibt es Einschränkungen. Man muß grundsätzlich mit einem erheblichen Wertverlust beim Verkauf rechnen. Es wird soviel über die Entwicklung neuer Batterien, über Fortschritte auf allen Gebieten gesprochen. Aber herausgekommen ist nicht viel. Die Vorteile sind klar: Eine hervorragende weiche Antriebstechnik mit rasanter Beschleunigung, keine Abgase, Nutzung des gegenüber Benzin preisgünstigen Energieträgers Elektrizität. Das könnte sich allerdings einmal ändern. Alle diese Fragen und noch vieles mehr soll in dieser Schrift behandelt werden. Und das in verständlicher Weise.

## **2. PS wird KW**

PS ist das immer noch gebräuchlichste Maß, obwohl schon lange keine Pferde mehr vor ein Fahrzeug gespannt werden. Kutschen, vor die vier Pferde gespannt sind, sind ein elegantes Beiwerk bei historischen Umzügen, wie auch die kraftstrotzenden Kaltblütler vor dem Brauereiwagen, voll beladen mit Fässern. Die sind allerdings leer, die Pferde müssen sich nicht anstrengen. Schätzungsweise leisten sie dabei 2 PS. Ein Auto mit einem solchen Motor würde keinen Käufer finden. Gefragt sind starke PS-Schlitten mit Hunderten von PS. Gebraucht würden sie nicht, aber man kann damit Aufsehen erregen. PS ist ein Maß dafür, was ein Motor leistet. Entstanden ist dieses Maß, als man anfing, die Eisenbahn zu bauen. Was muß die Lokomotive leisten, wie viele Pferde müßte man vor die Wagen spannen, um sie zu bewegen? Es ging um ein Maß für die Zugkraft. Wir sprechen noch heute vom Eisenbahnzug, von einem Zugbegleiter, obwohl da nicht mehr gezogen wird. Die elektrische Lokomotive schiebt, je nach Fahrtrichtung. Sie kann 2000 PS leisten, 2000 Pferde vor einem Zug! Man muß sich das einmal vorstellen.

Techniker können sich aber mit dieser Definition eines PS nicht zufriedengeben. Pferde können unterschiedlich stark sein. Was ist also ein PS? Eine Pferdestärke, in der Technik?

Wie „stark“ ist ein Pferd? Es muß das technische Maßsystem angewendet werden, das Maßsystem in Strecke, Gewicht und Zeit, in Meter, Kilogramm und Sekunde.

Dazu muß erst einmal eine Begriffsverwirrung beseitigt werden. In so manchem Bericht in den Medien werden die Begriffe „Arbeit“ und „Leistung“ verwechselt, da muß einiges präzisiert werden. Das erscheint langweilig und erfordert Mitdenken, aber ohne das geht es nicht. „Arbeit“ muß „geleistet“ werden, und die Leistung bemißt sich daran, wieviel Arbeit in einer bestimmten Zeit geleistet wird, oder andersherum, wieviel Zeit für eine bestimmte Arbeit gebraucht wird. Also beispielsweise wieviele Meter hoch ein Kilogramm in einer Sekunde gehoben werden kann, oder wieviele Kilogramm in einer Sekunde einen Meter hoch gehoben werden können. Tatsächlich hat man auf diese Weise festgestellt, was ein PS ist, wieviele Kilogramm in einer Sekunde von einem Pferd in einer Sekunde einen Meter hoch gehoben werden können. Man hat dazu eine entsprechende Vorrichtung benutzt und stellte fest: Ein Pferd, und zwar ein starkes Pferd, kann in einer Sekunde ein Gewicht von 75 kg einen Meter hoch heben. Das technische Maß für ein PS ist also 75 Meterkilogramm pro Sekunde, 75 mkg/sec.

Ein Auto war immer schon ein Luxusgegenstand, aber es hatte auch praktische Vorteile. Auch wer sich eine Kutsche und 2 Pferde leisten konnte, dazu einen Kutscher, mußte wohlhabend sein. Ein Auto hat da Vorteile. Pferde brauchen, auch wenn sie im Stall stehen, Futter, ein „Pferd“ in der Garage nicht. Man braucht auch keinen Kutscher, jeder kann ein Auto steuern. Um in der Produktion auf eine größere Stückzahl zu kommen, mußte man auch die Landbevölkerung erreichen. So dachte auch die Firma Citroën in Frankreich und entwickelte den „Deux Chevaux“, auf



Deutsch „Zwei Pferde“, ein Auto, bei dem auf jeden Komfort verzichtet wurde, was leicht war, einen Motor, der 2 PS hatte, also Pferde ersetzte, und einen Vorderradantrieb besaß, also wie lebendige Pferde das Fahrzeug zog. Es wurde ein Erfolgsmodell wie in Deutschland der VW Käfer. Es war eine Ehrerbietung an die Leistung der Pferde, aber ihre Ära war nun zu Ende. Das Leistungsmaß PS blieb, auch für ein Elektroauto. Aber bei dem Einsatz von Elektrizität als Energieträger wird ein anderes Maß gebraucht, eines, das sich auf Volt und Ampère bezieht.

Was ist ein Volt? Was ist ein Ampère? Das sind typische Examensfragen. Die gebräuchlichen Antworten kommen aus dem elektromagnetischen Maßsystem. Elektrischer Strom ist mit dem Magnetismus eng verbunden. Wir brauchen die Definition nicht. Verglichen wird der elektrische Strom in einer Leitung mit dem Wasser in einer Wasserleitung. Das ist gar nicht schlecht, aber Vergleiche sind eben nicht das Original. Elektronen entsprechen den Wassermolekülen, die elektrische Spannung in Volt dem Wasserdruck in Atmosphären.

Wollte man aus einer Wasserleitung Energie entnehmen, dann wäre der Erfolg umso größer, je größer der Wasserstrom ist, und umso besser, je höher der Druck in der Leitung ist. Übertragen auf den elektrischen Strom heißt das, es kommt auf Stromstärke und Spannung an. Das Maß für die Leistung ist Watt. Ein Watt ist ein Volt mal ein Ampère. Die geleistete Arbeit berechnet sich dann durch Multiplikation mit der Zeit, in der die Leistung entnommen wird. Das Maß ist eine Wattsekunde, oder im Automobilsektor eine Kilowattstunde.

Die Erklärung wurde so ausführlich gestaltet, damit die Verwechslung von Kilowatt und Kilowattstunden aufhört, wie man sie immer wieder in den Medien erlebt. Ein Motor hat eine Leistung in Kilowatt, eine Batterie eine Speicherkapazität und Kilowattstunden. Ihre Autobatterie hat eine Kapazität von etwa einer Kilowattstunde, das heißt, sie kann eine Leistung von 1000 Watt eine

Stunde lang entnehmen. Es ist leider so, daß der Begriff Leistung fälschlich für ganz unterschiedliche Fakten angewendet wird. Bei der Batterie muß es heißen Leistungskapazität.

Was ist nun ein KW verglichen mit einem PS, an das wir uns so gewöhnt haben? Elektromotoren hatten von vornherein Leistungsangaben in Kilowatt. Man weiß, für welche Spannung sie konstruiert sind und muß nur den Strom messen. Die Leistungsbegriffe PS und Kilowatt haben einen ganz anderen Ursprung. Es ist nicht zu erwarten, daß sie in unserem Dezimalsystem einen runden Umrechnungsfaktor haben. Die Zahlenangabe KW muß mit dem Faktor 1,36 multipliziert werden, um die Angabe in PS zu erhalten. Umgekehrt muß die Angabe in PS mit 0,72 multipliziert werden, um auf KW zu kommen. So wird also PS zu KW.

### **3. Elektrischer Rückspiegel**

Werfen wir einmal den Blick zurück auf die letzten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts.

Der Rückspiegel ist am Anfang ganz unelektrisch. Am Anfang war die Dampfmaschine. Die Erfindung diente ursprünglich dazu, das Wasser aus den englischen Kohlengruben zu pumpen. Die schweren Teile, Zylinder, Kolben, Schubstangen, Räder mußten in handwerklichen Betrieben gefertigt werden. Dafür gab es keine Fabriken. Die Dampfmaschine verbreitete sich schnell, und bald sah die Sache anders aus. Es wurden Fabrikhallen errichtet, an deren Ende eine Dampfmaschine stand. In der Längsrichtung der Halle verlief eine Welle, eine sogenannte Transmission, die von der Maschine angetrieben wurde. Auf dieser Transmission saßen Riemenscheiben, über die durch einen Lederriemen unten Werkzeugmaschinen, Drehbänke, Bohr- und Fräsmaschinen angetrieben wurden. Wer kennt das noch, wer weiß noch mit welchem Trick dafür gesorgt wurde, daß der Treibriemen nicht von der Rolle sprang! Die Industrialisierung verbreitete sich schnell

in Europa, die Dampfmaschine führte zu immer größeren Fabrikhallen. Elektrischen Strom gab es noch nicht.

Es gab aber immer schon Erfinder. Werner von Siemens mußte als ältester Sohn nach dem frühen Tod seiner Eltern für seine jüngeren Geschwister sorgen und wollte dies bewußt durch den Verkauf von Erfindungen. Es gab Erfolge und Mißerfolge, er ließ nicht locker. Im Jahr 1866 erfand er die „Dynamomaschine“, mit der man elektrischen Strom erzeugen konnte. Es war Gleichstrom, der heute durch das Elektroauto wieder benötigt wird. Heute spricht man vom Gleichstromgenerator. Die ersten Stromnetze wurden errichtet, in Deutschland Bad Kissingen, in Österreich-Ungarn Steinamanger. Die Spannung betrug 150 Volt. Die Stromkabel, die vom Elektrizitätswerk in die Stadt führten, hatten immer größere Querschnitte, da kam man bald an Grenzen. Die Leistung, die übertragen wird, berechnet sich aus Volt mal Ampère, und man kam bei der erforderlichen Stromstärke auf nicht mehr realisierbare Querschnitte. Ganz folgerichtig bot sich die Lösung des Problems durch Wechselstrom an, Leistungsübertragung durch höhere Spannung und geringere Stromstärke. Für niedere Spannung gibt es Transformatoren, wie man sie heute in jedem Industriebetrieb findet.

Es gab nun eine neue Kraftmaschine, man war nicht mehr nur auf die Dampfmaschine angewiesen. In großen Industriebetrieben trieb nun eine Dampfmaschine einen Generator an. Der elektrische Strom konnte leicht allen Arbeitsplätzen zugeleitet werden. Der Raum mit der Dampfmaschine mit dem gewaltigen Schwungrad, von dem aus über eine Anzahl von Seilen der Generator angetrieben wurde, war blitzsauber und das Glanzstück des Betriebes. Das Kesselhaus stand getrennt nebenan. Wegen der einfachen Regelung der Motoren war es natürlich Gleichstrom.

Sehr bald breitete sich auch der Einsatz der Elektrizität im Straßenverkehr aus. Der öffentliche Nahverkehr in Großstäd-

ten wurde durch die Pferdebahn abgewickelt, Dampflokomotiven waren in Straßen unbrauchbar. Die Pferdebahn wurde zur „Elektrischen“ oder auch „Trambahn“. Die Großstädte hatten bald ein Straßenbahnnetz, die Elektromotoren wurden mit 500 Volt Gleichspannung betrieben. Alles funktionierte abgasfrei, der Elektromotor war ideal für die Wasserpumpen in Bergwerken, die ersten Untergrundbahnen wurden gebaut. „Siemens“ stand auf dem Typenschild der Motoren.

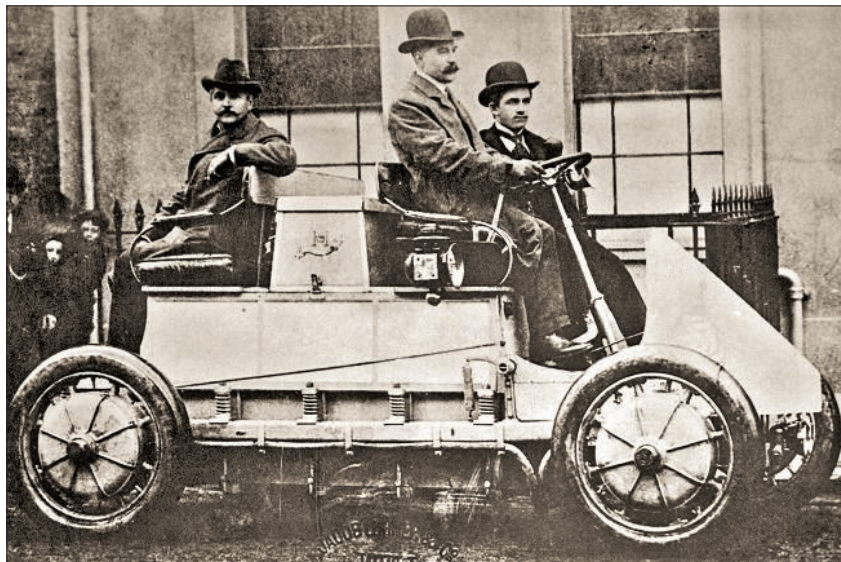
Ganz folgerichtig stellt sich die Frage, ob man nicht auch die Pferdekutschen durch elektrisch betriebene Fahrzeuge ersetzen könne. Karl Benz hatte den Benzinmotor für Fahrzeuge erfunden. Die Automobiltechnik entwickelte sich rasant. Man hatte mit 2 Schwierigkeiten zu kämpfen, 2 störungsanfällige Elemente gab es: Die Gangschaltung und die Kupplung. Ohne die ging es bei dem Einsatz eines Benzinmotors nicht. Anders bei einem Elektromotor. Er lieferte schon bei niedriger Drehzahl ein hohes Drehmoment und erreichte hohe Drehzahlen. Gerade das Richtige für ein Automobil, für ein Fahrzeug im Straßenverkehr.

Der geniale Konstrukteur Ferdinand Porsche befaßte sich schon am Ende des 19. Jahrhunderts im Rahmen des österreichischen Automobilherstellers Lohner mit dem Elektroantrieb. Als Stromquelle gab es nur die schwere Bleibatterie. Mit dem Energieinhalt kam man nicht weit. Man brauchte auf jeden Fall immer mehrere Batterien. Die Fahrzeuge wurden dadurch enorm schwer, die Anfahrbeschleunigung ging zurück, die Bremsen wurden übermäßig belastet, und die Reifen platzten. Es zeigte sich bald, daß dieses nicht der richtige Weg für ein Elektromobil sein konnte. Porsche kam auf die geniale Idee, einen Elektromotor mit einem Benzinmotor zu koppeln. Die Idee des Hybridantriebs war geboren.

Der Elektromotor mit seiner großen Flexibilität bezüglich der Drehzahl bei gleichzeitig hohem Drehmoment besorgte den Antrieb, der Benzinmotor, gekoppelt mit einem Generator, liefer-

te die Energie, den elektrischen Strom. Eine Batterie war zwar immer noch nötig für die Zündung des Benzinmotors, aber es genügte eine kleine Kapazität. Porsche ging mit seiner Idee für ein Elektroauto noch einen Schritt weiter. Nicht ein einziger Elektromotor sollte das Fahrzeug antreiben, sondern an jedem Rad ein Radnabenmotor. Damit erübrigte sich die mechanische Kraftübertragung auf die Räder, es erübrigte sich das Differentialgetriebe. Kein Fahrzeug mit Benzinmotor hatte damals einen Vorderradantrieb. Nun bestand die Möglichkeit, alle 4 Räder anzutreiben. Ein für die damalige Zeit fast unglaublicher Fortschritt! Bei den damaligen Straßenverhältnissen konnte es leicht geschehen, daß man bei Schneeglätte oder auch im Schlamm festsaß. Eine Differentialsperre gab es noch nicht. Dem Porsche-Elektroauto stand die Zukunft offen.

Die Firma Lohrer entschloß sich, ein solches Elektroauto auf den Markt zu bringen. Ein Exemplar wurde auf der Weltausstellung 1900 in Paris gezeigt.



Lohrer-Porsche Elektrohybridauto von 1900. Die Räder werden direkt von Nabenmotoren angetrieben.

Ein solches Auto konnte natürlich nicht billig sein. Es war der Preis, der eine weitere Verbreitung verhinderte. Dazu kam, daß Schaltgetriebe und Kupplung immer besser und zuverlässiger wurden. Das Lohrer-Porsche-Elektroauto brachte es nicht auf hohe Stückzahlen.

Durch den Krieg wurde die Entwicklung eines Elektroautos unterbrochen. Für den Militäreinsatz war es untauglich. Kanonen wurden von Pferden gezogen. Truppentransporte erledigte die Eisenbahn. Aber die Idee überlebte. Im Verhältnis zur Gesamtzahl der Automobile gab es in den Jahren nach dem Krieg mehr Elektroautos als heute. Die Firma Bergmann, ein heute kaum bekannter Name, stellte Elektroautos für den Warentransport her. Der Name „Bergmann“ stand auf dem Kühlergrill, der kein Kühler war, der Transporter der Post, welche die Pakete auslieferte. Man konnte sie langsam, leise und abgasfrei jeden Tag durch die Stadt fahren sehen. Den Strom lieferte eine schwere Bleibatterie, die in der Nacht aufgeladen wurde. Verglichen mit heute war der Strom teuer, das Benzin übrigens auch. Den Dieselmotor gab es noch nicht. Auch ein anderes Elektrofahrzeug war weit verbreitet: Der Elektrokarren für den Transport in Industriebetrieben.

Im übrigen verlief die technische Entwicklung in unserem Land infolge der strengen Vorgaben des Versailler Diktats alles andere als normal. Flugzeugbau war auf Segelflugzeuge beschränkt, BMW, der führende Hersteller von Flugmotoren, baute nun Motorräder. Es gab nur Wenige, die sich ein teures Auto leisten konnten. Die Inflation hatte alle Vermögen getilgt. Nach einer kurzen Erholungsphase in den 20er Jahren folgte eine wirtschaftliche Depression mit enorm hoher Arbeitslosigkeit. Reparationen mußten weiterhin bezahlt werden, andernfalls drohte ein Einmarsch der Alliierten. Das Rheinland wurde besetzt. Das Elektroauto für den Personenverkehr geriet in Vergessenheit. Die Politik setzte andere Zielvorgaben. Rennfahrzeuge von Mercedes-Benz und Auto Union erzielten Geschwindigkeitsrekorde. Die Hersteller erlangten Weltgeltung. Es wurde ein einfacher und funktionssicherer Motortyp in 4- und 6-Zylinderausführung entwickelt, den alle

Hersteller bauen mußten. Porsche wurde beauftragt, ein preisgünstiges Fahrzeug für die Familie zu konstruieren. Eine Weiterentwicklung seines Elektroautos gab es nicht. Und wieder setzte ein Krieg ganz andere Prioritäten. Und wieder gab es nach dem Krieg einen Neuanfang.

Ein Neuanfang zeichnete sich auch im Straßenverkehr ab. Im dörflichen Bereich und in den kleineren Städten dominierten noch die Pferdefuhrwerke, aber je größer die Stadt war, um so mehr wurden Pferde aus der Stadt verbannt. Es war die Post, die damals konsequent die Zulieferung mit Kraftfahrzeugen begann. Benzin war teuer. An der Tankstelle kostete damals ein Liter über 40 Pfennige. Es waren Elektrofahrzeuge, die von der Reichspost für den Lieferverkehr eingesetzt wurden. Neben Siemens und AEG gab es noch den bedeutenden Elektrokonzern „Bergmann“, der diese Elektrofahrzeuge herstellte. Die Fahrzeuge trugen auf



Zustellfahrzeug der Reichspost. Elektroauto der Firma Bergmann.

der Motorhaube den Schriftzug „Bergmann“. Sie fuhren langsam, leise und abgasfrei durch die Straßen, bis in die 40er Jahre. Die Stromversorgung erfolgte mit Bleibatterien, die in der Nacht wieder aufgeladen wurde. Elektromobilität ist also nichts Neues.

Die wirtschaftliche Erholung brachte – besonders in den USA – eine enorme Zunahme des Individualverkehrs mit dem Auto. Besonders in den großen Städten mit den engen Straßenschluchten war die Luftverschmutzung bald unerträglich. Es bildete sich „Smog“, eine neuartige Bezeichnung für ein neuartiges Problem. Besonders die Dieselfahrzeuge, deren Zahl nach der Entwicklung des hochtourigen Dieselmotors stark zunahm, kamen in Verruf. Folgerichtig wurde die Entwicklung eines Elektroautos wieder aktuell. Elektroautos selbst erzeugen keine Abgase, die Abgase mit einer eventuellen Luftverschmutzung entstehen an anderer Stelle.

Als Energiequelle sollte eine Batterie dienen. Die Brennstoffzelle mit ihren besonderen Problemen dann vielleicht später. Fragen wir erst einmal: Was ist los mit der Batterieentwicklung?

#### **4. Nicht abschalten!**

Nicht abschalten, wenn es kompliziert zu werden scheint, sondern mitdenken! Auch komplizierte Vorgänge lassen sich einfach darstellen. Nur so kann man die Möglichkeiten und Grenzen für ein Elektroauto erkennen.

Es gibt keinen Tank für Elektrizität, in den getankt werden kann, wie es für Benzin üblich ist. Die Energiequelle Elektrizität funktioniert ganz anders.

Die Bezeichnung „Elektrischer Strom“ ist irreführend, denn da fließt gar nichts, oder wenigstens nicht viel. Die elektrische Spannung, das elektrische Potential, ist ein „Elektronendruckunterschied“, und die elektrische Energie wird durch einen Elektronendruck übertragen. Verglichen mit einer Wasserleitung, ist es



so, daß nicht die Menge des Wassers, sondern der Wasserdruck in der Leitung die Energie überträgt. Druckübertragung braucht immer ein Medium, das komprimiert wird, und bei der Elektrizität sind es die Elektronen. Ein elektrischer Generator funktioniert so, daß ein Stück Draht in einem Magnetfeld bewegt wird, und schon entsteht an den Enden eine elektrische Spannung, ein Elektronendruckunterschied. Zur Energieübertragung muß er sofort genutzt werden, man kann ihn nicht aufheben. So funktioniert der von Siemens erfundene Generator.

Es gibt aber noch eine andere Möglichkeit, ein elektrisches Potential, einen Elektronendruckunterschied, zu erzeugen: Mit der Elektrochemie. Seit weit über 100 Jahren kennt man die „elektrochemische Spannungsreihe“. Unterschiedliche chemische Stoffe, auch Metalle, zeigen eine elektrische Spannung, wenn man zwischen beide ein „ionenleitendes Medium“ bringt. Elektrizität kann nicht nur durch Elektronen, sondern auch durch positiv geladene Ionen geleitet werden. Die Sache ist nicht neu. Es gab schon lange Taschenlampenbatterien mit Zink und Kohle, dazwischen ein geeignetes Medium. Eine solche Zelle erzeugte eine Spannung von 1,5 Volt. Man konnte elektrischen Strom entnehmen, und eines Tages war die Batterie leer, das Zink hatte sich aufgelöst. Eine Stromquelle, die sich verbraucht, ist für ein Elektroauto ungeeignet. Nun gibt es in der Elektrochemie auch Kombinationen von Stoffen, bei denen dieser Prozeß in beide Richtungen, also reversibel verläuft, umkehrbar. Altbekannt ist der Bleiakkumulator, bei dem Blei und Bleisulfid die Partner sind, Schwefelsäure der Elektrolyt zwischen den Partnern, Bleisulfid-Ionen sind die Ladungsträger.

In einem Akkumulator, in einer Autobatterie, wird nicht elektrische Energie gespeichert, sondern es wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt. Diese Umwandlung ist nicht kostenlos, dafür werden Gebühren verlangt, indem man nie den Betrag an Energie wieder zurückbekommt, den man hineinsteckt hat. Bei jedem Lade- oder Entladevorgang entsteht

Wärme, auch eine Form der Energie, die nutzlos abgeführt wird. Man erhält bei einer Batterie bestenfalls 85 % der Energie zurück. Die Batterie hat einen Wirkungsgrad von 85 %. Der Wirkungsgrad kann auch viel niedriger sein. Jede Batterie verfügt über eine Selbstentladung. Wenn man lange genug wartet, dann ist die Batterie leer. Wirkungsgrad 0 %.

Wenn man ausrechnet, wie weit ein Auto mit der Energie der vollgeladenen Batterie fahren kann, dann kommt man gerade auf 5 Kilometer. Wenn man auf Heizung und Klimatisierung nicht verzichten will, dann reduziert sich die Fahrstrecke auf die Hälfte. Und dabei ist der Energiegehalt einer Autobatterie recht beträchtlich, nämlich rund eine Kilowattstunde. Man könnte also eine Leistung von 1000 Watt eine Stunde lang entnehmen. Aber 5 Kilometer Fahrstrecke ist nicht viel, dafür braucht man gerade ein Weinglas voll Benzin. Das Vollladen einer Autobatterie dauert eine Nacht. Das weiß jeder, der selbst ein Ladegerät benutzt. Das Tanken von einem Glas Benzin eine Sekunde. Da sind wir schon beim Thema: Möglichkeiten und Grenzen der Elektromobilität. Bitte weiterhin nicht abschalten!

Es bleibt nichts anderes übrig, wir müssen nun ein wenig rechnen. Wollen wir (nur) 150 Kilometer weit fahren, dann brauchen wir dafür 30 Autobatterien, 30 kWh elektrische Energie. Es ist klar, daß Bleibatterien dafür nicht in Frage kommen. Wie lange das Tanken der notwendigen Menge von Benzin dauert, braucht nicht diskutiert zu werden. Aber wie lange dauert das Voll-Laden der für 150 km Fahrstrecke nötigen Batterie? Das wären 30 Kilowatt eine Stunde lang, oder 3 kW 10 Stunden lang. Viel zu lang? Also 6 kW 5 Stunden lang. 1 Watt ist 1 Volt mal 1 Ampère. Die Bordspannung bei einem Elektroauto beträgt 48 Volt, also Ladespannung rund 50 V. Es muß also ein Ladestrom von 120 Ampère 5 Stunden lang fließen. Sie wissen, daß die Stromkreise in Ihrem Haus mit 20 Ampère abgesichert sind. Für eine Stromstärke von 120 A gibt es keine üblichen Stecker, Schalter oder Kabel. Schnell-Laden bedeutet noch höhere Stromstärken,

evl. Beschädigung der Batterie. Da liegen die Probleme. Sie sind ganz unabhängig von der Art der Batterie.

Eine Batterie liefert Gleichstrom, sie muß auch durch Gleichstrom geladen werden. Das öffentliche Stromnetz liefert aber Wechselstrom. Man braucht also Gleichrichter, und zwar sehr leistungsfähige. Die arbeiten auch nicht umsonst, auch sie haben einen bestimmten Wirkungsgrad. Es muß klar sein, daß man immer mehr Energie aufwenden muß, als man wieder zurückerhält. Elektrischer Strom fließt immer in einem Stromkreis. Bei jedem Lade- und Entladevorgang fließt derselbe Strom auch durch den Elektrolyten der Batterie. Auch der Elektrolyt hat einen gewissen Widerstand. Also wird er bei der Ladung oder Entladung warm. Es entsteht nutzlose Wärmeenergie, die abgeführt werden muß. Die ist bei einem Ladestrom von 100 und mehr Ampère schon recht beträchtlich. Als Richtwert kann man annehmen: Wieviel Minuten das Tanken von Benzin dauert, so viele Stunden dauert das Tanken von Strom.

Es wird viel von Batterieentwicklung gesprochen und viel versprochen. Tatsächlich ist schon viel erreicht worden, und zwar in der Reduzierung des Gewichtes. Eine Bleibatterie mitzuschleppen, die genügend Energie für eine Reichweite von 150 km enthält, ist einfach nicht möglich.

Die elektrochemische Spannungsreihe bietet eine gewisse Auswahl von Kombinationen, aus der sich eine wiederaufladbare Batterie herstellen läßt. Gebräuchlich sind Nickel-Cadmium und Nickel-Eisen. Diese Kombinationen sind zwar leichter als Blei-Akkumulatoren, liefern aber nur eine Spannung von 1,6 Volt. An der Spitze der elektrochemischen Spannungsreihe steht das Element Lithium mit 3,6 Volt. Lithium ist das leichteste Metall, das es gibt, silberglänzend, aber als Werkstoff nicht zu gebrauchen, weil es eine so hohe Affinität zu Sauerstoff hat, daß es an der Luft gleich anfängt zu brennen. Man kann es nur unter Luftabschluß, z.B. unter Spiritus aufbewahren. Aber in Form von Lithiumverbindungen läßt es sich nutzen.

Die negative Elektrode einer Lithium-Ionen-Batterie besteht in der Regel aus Graphit. Die positive Elektrode enthält meist Lithium-Metalloxide, wie Lithium-Kobaltoxid oder Lithium-Nickeloxid. Als Elektrolyt kommen ganz spezielle Lösungsmittel in Betracht, wie Ethylencarbonat, Propylencarbonat oder Dimethylcarbonat. In diesen sind Lithiumsalze enthalten. Die Lithium-Ionen bilden die positiven Ladungsträger. Beim Aufladen der Batterie wandern diese durch die angelegte Spannung durch den Elektrolyten hindurch in den Graphit der Kathode und lagern sich dort an. Beim Entladen läuft der Vorgang in umgekehrter Richtung.

Die Kapitelüberschrift „Nicht abschalten“ gilt auch weiterhin. Wer sich über Elektromobilität informieren und sich ein eigenes Urteil bilden will, muß weiter mitdenken.

Die Lithium-Ionen-Batterie ist in der Tat ein Leichtgewicht unter den Batterien. Lithium ist das leichteste Metall, Graphit in seiner porösen Struktur leichter als Aluminium. Leichter geht es nicht, da gibt es keine „Batterieentwicklung“. Lithium steht an der Spitze der elektrochemischen Spannungsreihe. Da gibt es keine Entwicklung von Batterien mit höherer Spannung. Die Konstruktion, die Wärmeabführung kann vielleicht noch optimiert werden, aber grundsätzlich Neues wird es nicht geben.

Um eine Vorstellung von den Gewichtsunterschieden zu bekommen, kann man folgende Richtwerte annehmen:

Um eine kWh Energie zu speichern, wiegt  
eine Bleibatterie 15 kg  
eine Ni-Cd oder Ni-Fe-Batterie 8 kg,  
eine Li-Ionen-Batterie 1 kg.

Für eine Fahrstrecke von 150 km braucht ein Elektroauto eine Batterie mit einer Kapazität von 30 kWh. Eine solche Li-Ionen-Batterie wiegt 30 kg. Eine solche Batterie ist zwar „leicht“, aber immer noch schwer, verglichen mit 10 Litern Benzin, die ein Verbrennungsmotor braucht. Ein Benzintank kostet nicht viel, die Li-Ionen-Batterie fast soviel wie der Rest des Autos. Das liegt

auch mit daran, daß Lithiumerze selten sind und die Gewinnung von Lithium kostspielig. Nennenswerte Vorkommen der Erze findet man in Südamerika (Bolivien) und neuerdings in Afghanistan. Wann dort mit der Gewinnung von Lithium wegen der politischen Verhältnisse begonnen werden kann, steht in den Sternen. Die Hoffnung, daß sich der Preis verbilligt, wird sich wahrscheinlich nicht erfüllen. Er richtet sich nach Angebot und Nachfrage. Wenn die Nachfrage steigt, wird der Preis eher steigen.

Faßt man das Kapitel kurz zusammen, so stellt man fest: Durch die Naturgesetze werden die Grenzen bestimmt. Die lassen sich nicht ändern. Die Technik kann alles optimieren. Da sind kleine Verbesserungen möglich. Mit der geringen Reichweite und der langen Ladezeit der Batterie müssen wir uns abfinden.

### **Einschub für Leser, die vor Naturgesetzen nicht zurückschrecken.**

Es geht um 2 Gesetze, die die Elektrizität betreffen: Das Ohm'sche Gesetz und das Leistungsgesetz. Das Ohm'sche Gesetz lautet:  $I = U / R$ . Das heißt: Der Strom fließt umso stärker, je höher die Spannung ist, und umso schwächer, je größer der Widerstand im Stromkreis ist. Eigentlich selbstverständlich. Das weiter zu beachtende Naturgesetz, das Leistungsgesetz, lautet: Die durch den fließenden Strom erbrachte Leistung beträgt:  $N = I \times U$ . Also das Produkt aus Stromstärke und Spannung. Kombiniert man beide Gesetze, so erhält man für die Leistung das Gesetz  $N = I^2 \times R$ . Das heißt: Die Leistung steigt bei einem vorgegebenen Widerstand quadratisch mit der Stromstärke an.

Nun betrachten wir den Ladevorgang einer Autobatterie. Der Ladestrom fließt in einem Stromkreis, also auch durch die Batterie, durch den Elektrolyten der Batterie. Dieser setzt dem Ladestrom einen gewissen Widerstand entgegen, die Batterie hat einen gewissen „inneren Widerstand“. Der innere Widerstand  $R$  der Batterie bewirkt, daß die Batterie bei Stromdurchfluß, also sowohl

beim Laden wie auch beim Entladen, warm wird. Und das quadratisch mit der Stromstärke. Bei doppeltem Strom wird die Batterie 4x so warm! Das Ausrufezeichen soll bedeuten: Vorsicht, da gibt es eine Grenze. Sollte eine Lithium-Ionen-Batterie über 200 Grad warm werden, dann besteht Brandgefahr. Das setzt naturgesetzliche Grenzen für den Ladestrom wie auch für das Vollgas. Dabei wird nicht nur der kostbare Strom in unnütze Wärme verwandelt, nein, es entstehen neue Gefahren. Darüber soll im nächsten Kapitel die Rede sein.

## **5. Risiken und Nebenwirkungen**

Eine Bleibatterie ist ein bewährtes Bauelement in jedem Auto. Man kann da nicht viel falsch machen. Etwas anderes ist es bei einer Li-Ionen-Batterie. Da muß an einiges gedacht werden.

### **Laden**

Lädt man eine Bleibatterie auf, so kommt einmal der Zustand, wo sie aufgeladen ist. Die Spannung hat 2 Volt erreicht, die durch das Ladegerät zugeführte Energie wird nicht zur Fortführung der chemischen Umwandlung benutzt, sondern sie heizt den Elektrolyten auf, also die Schwefelsäure. Die Batterie fängt an zu „kochen“, wie dieser Vorgang genannt wird. Das muß selbstverständlich verhindert werden, aber zerstört wird die Batterie nicht. Bei der Li-Ionen-Batterie ist das anders. Die Batterie darf keinesfalls überladen werden. Elektrofahrzeuge sind deshalb mit einem Ladebegrenzer ausgestattet, der den Ladevorgang etwa 10 bis 15 % vor dem Voll-Laden unterbricht. So ist sichergestellt, daß nichts passiert, wenn das Fahrzeug an einer Ladestation angeschlossen ist. Ein Volltanken gibt es nicht.

### **Entladen**

Beim Entladen gelten ähnliche Vorsichtsregeln. Die Batterie darf nicht vollständig entladen werden. Bei 80 % Entladung ist Schluß. Andernfalls wird der Elektrolyt beschädigt und muß aus-

getauscht werden. Diese Beschränkungen reduzieren die Reichweite. Im praktischen Einsatz kann es durchaus vorkommen, daß man nicht kurz vor dem Ziel stehen bleiben will und geht dann das Risiko ein, die Batterie zu beschädigen. Die Restreichweite wird zwar angezeigt, und vor jeder Fahrt rechnet man sich aus, ob die Reichweite ausreicht, aber im praktischen Verkehr gibt es immer wieder Situationen, die man nicht voraussehen kann. Also bleibt man lieber im Nahbereich. Wenn Firmen eine größere Reichweite für ihre Fabrikate angeben, dann ist das nur durch eine größere Batterie möglich. Die ist dann entsprechend teurer und schwerer.

### **Vollgas**

Es ist eine herausragende Eigenschaft des Elektromotors, daß das volle Drehmoment von Anfang an bereitsteht. Die S-Bahn kann schnell anfahren, was Dieseltriebwagen nicht können. Es kann durchaus reizvoll sein, den anderen Verkehrsteilnehmern zu zeigen, wie ein Elektroauto spurten kann. Aber man sollte es nicht tun. Es bekommt der Batterie nicht. Bei „Vollgas“ ist natürlich bei einem Elektroauto keine Spur von einem Gas im Einsatz, ebensowenig wie bei einem Benzin- oder Dieselmotor mit Einspritztechnik. Was bei Dampflokomotiven mit Volldampf noch gestimmt hat, stimmt bei Motoren, die keinen Vergaser mehr haben, eben nicht mehr. Also bleiben wir bei Vollgas.

### **Wer langsam fährt, kommt auch zum Ziel**

Höchstgeschwindigkeiten sind beim Elektroauto nicht im Angebot. Mit den bisher erläuterten Erkenntnissen ist der Grund leicht zu verstehen. Nehmen wir beispielsweise an, für ein Elektroauto wird eine Reichweite von 150 km angegeben. Dann hat es eine Batteriekapazität von 30 kWh. Die Ladezeit für die Li-Ionen-Batterie beträgt 5 Stunden. Dann ist die Ladestromstärke so, daß die Batterie nicht beschädigt wird. Man muß immer im Auge behalten, daß die Bordspannung die 50-Voltgrenze nicht überschreiten soll, damit es für den Menschen nicht gefährlich wird. Also muß bei einer höheren Leistungsanforderung mit einer hö-

heren Stromstärke gerechnet werden. Da gibt es Grenzen. Führt ein Elektroauto auf der Autobahn mit der für heutige Verhältnisse mäßigen Geschwindigkeit von 100 km/Std, so braucht es für 150 km 1 ½ Stunden. Dann ist die Batterie leer. Das heißt: Was in 5 Stunden aufgeladen wurde, wurde in 1 ½ Stunden verbraucht. Also floß in dieser Zeit die dreifache Stromstärke! Da wurde so einiges warm, auch die Batterie. Der Elektrolyt hat einen „inneren Widerstand“. Die Erwärmung kann für die Batterie Folgen haben. Sie muß immer gut gekühlt sein. Wenn sie über 200 Grad warm wird, kann sie anfangen zu brennen. Lithium ist sehr reaktiv und verbindet sich dann mit dem Sauerstoff der Luft. Es brennt. Eine brennende Batterie ist praktisch nicht zu löschen. Die Konstruktion eines Elektroautos sieht vor, daß so etwas nicht passieren kann. Aber trotzdem ist es nicht ganz auszuschließen. Jede technische Einrichtung kann einmal eine Störung haben.

Ebensowenig wie Hitze verträgt die Batterie auch die Kälte nicht. Unter 10 Grad C muß sie geheizt werden. Sonst steigt der innere Widerstand beträchtlich.

## **Sicherheit**

Der beste Platz für eine Li-Ionen-Batterie ist dort, wo sich sonst der Benzintank befindet. Sie ist schwer, wiegt 30 bis 50 kg, und muß sicher befestigt sein. Sie darf sich bei einem Unfall, auch bei einem Überschlag nicht lösen. Etwas anderes muß noch bedacht werden: Eine vollgeladene Batterie mit einer Kapazität von 30 oder gar 50 kWh ist ein gewaltiges Kraftpaket. Es darf auf keinen Fall einen Kurzschluß geben, bei dem die gesamte Energie auf einmal entladen wird. Bei einem Unfall mit einem Fahrzeug mit einem Verbrennungsmotor, bei dem ein Brand entsteht, müssen die Insassen auch versuchen, schnell das Fahrzeug zu verlassen, aber sie haben doch etliche Sekunden Zeit. Das auslaufende Benzin brennt nach und nach ab. Bei einem Kurzschluß bleibt dazu keine Zeit. Es entsteht ein gewaltiger Blitz, vergleichbar mit dem Blitzschlag in einem Gewitter, der etwa die gleiche Energie enthält. Dem kann niemand entkommen. Ein Kurzschluß muß unter allen Umständen vermieden werden. Da sind die Techniker



gefragt. Ein Elektroauto bringt neue, andere Gefahren mit sich. Die Sicherheit der Insassen muß gewährleistet sein.

## **6. Ende gut – Alles gut**

Wenn man alles überdenkt, kommt man zu der Feststellung: Das Elektroauto ist das ideale Fahrzeug für den Stadtverkehr. Es fährt geräuscharm und hinterläßt keine Abgase, keinen Ruß. Eine Reichweite von 150 km reicht aus, in der Nacht wird die Batterie aufgeladen, wo die Möglichkeit gegeben ist mit billigem Nachtstrom. Es ist ideal, damit zur Arbeitsstelle zu fahren, zum Einkaufen, die Kinder in die Schule zu bringen und wieder abzuholen. Es hat nur einen Nachteil, es ist teuer wegen der teuren Li-Ionen-Batterie. Daran ändert auch die Prämie nichts. Wer sich ein Stadtauto anschafft und daneben noch ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor für Fernfahrten, der ist wohlhabend und braucht die Prämie nicht. Dann bleibt noch das Risiko mit der Batterie. Theoretisch läßt sie Ladung und Entladung von mehreren 10.000 Zyklen zu. Ausprobiert hat das niemand. Man weiß, daß die Batterie empfindlich auf Fehlbehandlung reagiert. Trotz aller Vorsicht ist schnell einmal etwas passiert, und dann kann es teuer werden.

Für jede technische Einrichtung gibt es einmal ein Ende der Gebrauchsdauer. Dann muß entsorgt werden. Für die Bleibatterie läuft die Entsorgungskette reibungslos, für die Li-Ionen-Batterie muß sie erst aufgebaut werden. Es muß erst festgestellt werden, welche Lithiumsalze die Batterie enthält. Wahrscheinlich wird es eine Klassifizierung geben. Das Lithium ist wertvoll und muß wiederverwendet werden. Das Recycling ist nicht kostenlos. Auch der Graphit wird mit Sicherheit wiederverwendet. Da muß noch vieles vorgesehen werden, da wird Neuland betreten. Für den Elektromotor ist die Frage der Wiederverwendung leichter zu beantworten. Es handelt sich um starke Motoren in der Klasse 100 kW. Die werden nicht so schnell defekt, insbesondere weil sie in

einem Elektroauto kaum einmal bis zur Leistungsgrenze beansprucht werden. Ein solcher Elektromotor hat ein langes Leben vor sich. Vielleicht müssen die Lager erneuert werden, dann ist er wieder neuwertig. Jeder Elektromotor enthält eine Menge wertvolles Kupfer. Man muß die Wicklungen nicht unbedingt abwickeln. Man kann sie lassen, wie sie sind.

Erst wenn wirklich einmal eine größere Menge von Elektrofahrzeugen im Gebrauch sind, werden die Probleme eine Lösung finden. Übermorgen.

## **7. Eine Weltausstellung weist den Weg**

Das auf der Weltausstellung in Paris im Jahr 1900 ausgestellte Elektroauto hatte einen Hybridantrieb. Der Konstrukteur war Ferdinand Porsche. Porsche hatte sehr bald erkannt, daß ein Elektromotor in einem Auto viele Vorteile bietet. Man brauchte kein Getriebe und keine Kupplung. Das Problem war von Anfang an die Batterie. Also war es seine Idee, die elektrische Energie auf andere Weise zu erzeugen, nämlich durch einen Generator, der von einem Benzinmotor angetrieben wird. Die Idee des Hybridantriebs war geboren. Allerdings besteht dabei zu dem heute vorliegenden Antrieb ein entscheidender Unterschied. Bei Porsche waren die beiden Motoren hintereinander, in Serie geschaltet, während bei den heutigen Hybridantrieben beide Motoren parallel arbeiten. Heute wie damals braucht man eine Batterie als Mittler zwischen beiden Motoren, eine nicht allzugroße Kapazität genügt. Eine vollgeladene Batterie von 3 bis 4 kWh reicht für eine Fahrstrecke von 15 bis 20 km. Der Ladezustand der Batterie wird laufend überwacht. Rechtzeitig vor dem Ende der Batterieladung startet automatisch der Verbrennungsmotor. Dieser übernimmt dann den Antrieb des Fahrzeugs und lädt die Batterie wieder auf. Beide Motoren, der Elektromotor und der Verbrennungsmotor, haben etwa die gleiche Leistung von beispielsweise 60 kW (80 PS). Für den normalen Fahrbetrieb ist diese Leistung völlig ausreichend. Ein solcher Motor weist auch einen niedrigen Kraft-

stoffverbrauch auf. Er kann optimal auf eine geringe Schadstoffbelastung eingestellt werden. Wird eine höhere Leistung gefordert, z. B. bei einem Überholvorgang oder am Berg, so schaltet automatisch der Elektromotor zu. Dann steht in unserem Beispiel eine Leistung von  $120 \text{ kW} = 160 \text{ PS}$  zur Verfügung.

Der Elektromotor ist so geschaltet, daß er bei jedem Bremsvorgang als Generator arbeitet und die Batterie wieder auflädt. Bei einer Bergfahrt arbeiten beide Motoren, bei der Talfahrt fließt elektrische Energie in die Batterie zurück. Bei keinem Verbrennungsmotor hat man, unten angekommen, mehr Benzin im Tank als oben. Elektrische Energie ist billiger als jeder Kraftstoff. Fährt man viel mit der Energie der an der Steckdose vollgeladenen Batterie, so kann man viel an Kosten einsparen. Je nach den Verhältnissen kann man es auf einen Verbrauch von 2 bis 3 Litern Kraftstoff auf 100 km bringen.

Bei einem Hybridauto stellt sich die Frage der Wirtschaftlichkeit. Es eignet sich eher für Vielfahrer. Wegen der aufwendigen Technik mit 2 Motoren kann es in der Anschaffung nicht billig sein. Auch der Kundendienst und Reparaturen sind teurer. Da gibt es heute noch Unsicherheiten. Fragen, die nicht beantwortet werden können. Technisch reizvoll ist ein Hybridauto auf jeden Fall. Es wird auch eine Zukunft haben, im Gegensatz zu einem reinen Elektroauto, dessen Einsatz hauptsächlich auf den Stadtverkehr beschränkt bleiben wird.

## **8. Der Außenseiter**

Bei einem Elektroauto ist nicht der Motor das Problem, die Motorentwicklung ist ausgereift, sondern die Energiequelle. Woher nimmt man die elektrische Energie, den Strom für den Motor. Die wiederaufladbare Batterie ist der eine Weg, die Batterie, bei der sich eine Elektrode verbraucht, der andere. Das Beispiel einer Zink-Kohle-Batterie wurde schon erwähnt. Da wird das Zink verbraucht, um Strom zu liefern.

Man muß nur eine Kombination finden, bei der der verbrauchte Stoff laufend zugeführt werden kann. Und so etwas gibt es. Es ist das Prinzip der Brennstoffzelle. Der Stoff, der laufend zugeführt wird, muß flüssig oder gasförmig sein. Praktisch kommt Wasserstoffgas oder Methangas in Frage. Das Gas muß durch eine durchlässige Trennwand von der anderen Elektrode abgetrennt sein. Und da sind wir schon bei dem Problem: Die Trennwand.

Die Trennwand ist dünn, empfindlich, also erschütterungsempfindlich, arbeitet besonders effektiv bei höheren Temperaturen. Eine solche Konstruktion zu entwickeln, ist für stationäre Brennstoffzellen, auch für solche für U-Boote, leichter machbar, aber für ein Elektroauto mit seiner stark wechselnden Belastung? Daran wird gearbeitet, aber es wird ein noch ziemlich langer Weg sein.

Es kann nicht die Aufgabe dieser Schrift sein, die Funktion einer Brennstoffzelle in allen Einzelheiten zu erklären. Es geht um das Prinzip.

Die eine Elektrode der Zelle ist also Wasserstoff auf der einen Seite der Membran. Die andere Elektrode auf der anderen Seite ist Sauerstoff aus der Luft. In der Verbindung von Sauerstoff mit Wasserstoff steckt viel Energie. Das Ergebnis der Verbindung ist Wasser.

Man kann die in der Verbindung steckende Energie auf zweifache Weise gewinnen: 1. Man kann Wasserstoff mit Sauerstoff verbrennen. Das ist die chemische Nutzung. Man erhält die Energie als Wärmeenergie. 2. Man kann die Elektrochemie anwenden und erhält die Energie als Elektrizität.

Der umgekehrte Vorgang ist bekannt. Man weiß, daß man Energie speichern kann, indem man Wasser, das leicht angesäuert sein muß, durch elektrischen Strom, also durch Zuführen von Energie, in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten kann. In der Brennstoffzelle läuft der Vorgang in der umgekehrten Richtung.

Der Stromfluß in der Zelle wird wie in jeder Batterie durch Ionen, also durch positive Ladungsträger bewirkt. In einem wärmeren Elektrolyten bewegen sich die Ionen leichter, der innere Widerstand ist geringer. Um ein Elektroauto mit Brennstoffzelle bei Kälte zu starten, braucht man besondere Einrichtungen. Da muß noch viel Entwicklungsarbeit geleistet werden, da müssen wir wohl bis übermorgen warten.

Der Wasserstoff oder das Methangas als Energieträger muß entweder in Druckgasflaschen mitgenommen werden, oder aber das Auto besitzt einen Druckgastank, und die Tankstelle ist für Druckgastanken eingerichtet. Natürlich stellt sich da die Frage: Ist es dann nicht einfacher, das Gas als Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor zu verwenden? Die Antwort ist: Die Erzeugung von mechanischer Energie ist bei der Brennstoffzelle mit einem höheren Wirkungsgrad verbunden, die Energie wird besser ausgenutzt. Bei Nutzung eines Verbrennungsmotors kann man mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 40% rechnen, bei einer Brennstoffzelle erwartet man über 60%. Das sind aber noch sehr unsichere Angaben, da fehlt die praktische Erfahrung. Die muß erst gewonnen werden. Warten wir also ab, warten wir bis übermorgen.

## **9. Wo ist die nächste E-Tankstelle?**

Diese Frage ist bei dem Fahrer eines E-Autos immer präsent. Er hat keinen Reservekanister für Strom. Zumindest ist eine E-Tankstelle unübersehbar. Ist sie vergleichbar mit einer Tankstelle für Benzin? Meist gibt es 4 Zapfstellen, an denen Benzin oder Dieselmotorkraftstoff gleichzeitig getankt werden kann. Der Tankvorgang dauert etwa 5 Minuten, das Abrechnen an der Kasse noch einmal knapp 5 Minuten, man bleibt noch kurze Zeit länger, wenn man sich im Warenangebot umsehen will. Nach 10 bis 15 Minuten verläßt man die Tankstelle wieder, der Platz wird für den nächsten frei.

Bei der E-Tankstelle dauert alles viel länger. Falls es sich um eine Schnelladestation handelt und das Auto auch zum Schnellladen eingerichtet ist, dauert das Laden der Batterie auf 80 % ihrer Kapazität 30 Minuten. Da es auch Normal-Ladesäulen geben muß, sind diese für Stunden für einen Ladevorgang belegt. Wenn es einmal keine Zulassung mehr für Autos mit Verbrennungsmotoren gibt und der ganze Verkehr mit E-Autos erfolgt, dann müssen die Tankstellen die nötigen Ladesäulen anbieten, dann hat eine Tankstelle die Größe eines Fußballfeldes. Daran führt kein Weg vorbei. Dieser Platz ist in der Stadt nicht vorhanden und am Stadtrand zu teuer. Haben die Protagonisten einer solchen E-Mobilität daran gedacht? Darüber gesprochen haben sie nie. Die E-Mobilität wird sich auf den Stadtverkehr beschränken. Nachts aufladen, tagsüber im Bereich der Stadt fahren. Das gab es schon einmal vor fast 100 Jahren. Zukunft wie vorgestern. Für den Fernverkehr wird ein Auto mit Verbrennungsmotor benötigt für den, der es sich leisten kann, 2 Autos zu besitzen.

## Der Autor

Dr. Gustav Krüger



Dr. Gustav Krüger (1920) studierte in Berlin und Stuttgart Physik und promovierte 1951 am Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart. Nach kurzer Tätigkeit im Zentrallabor der AEG wechselte er in die Uhrenindustrie der Schweiz, wo er als Vizedirektor eines industriellen Forschungsinstituts wirkte. Nach seiner Rückkehr nach Deutschland 1962 baute er die Firma Feinmetall im baden-württembergischen Herrenberg als Zulieferbetrieb für die Uhren- und Elektroindustrie auf. Ab 1970 verlagerte dieses Unternehmen seinen Schwerpunkt auf Prüftechnik für die Elektronik. In diesem Unternehmen wirkte Dr. Krüger bis zu seinem Ausscheiden 1990 als Geschäftsführer.

Dr. Gustav Krüger ist auch Vorsitzender des Ältestenrates der Deutschen Konservativen e.V.

Neben einer Vielzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen erschienen aus seiner Feder auch die beiden Monographien „Uhren und Zeitmessung“ (1977) und „Zwangsarbeiter“ (2001). Weitere Bücher wie „Kernkraft-Kohle-Klima – Energie nachgefragt“ (2010), „Die Energiewende – Wunsch und Wirklichkeit“ (2011), „Der große Betrug – Die Energiewende“ (2012), „In unser Herz geschrieben – Wegweiser im Alltag“ (2014), und „Der Klimakiller CO<sub>2</sub> – Ein politischer Totschläger“ (2015) kamen dazu.



## „Segen“ der Elektroautos - Nachteile werden verschwiegen

Elektromobilität ist ein weites Feld. Wenn der Autoverkehr in Zukunft weitgehend abgasfrei laufen soll, lohnt es sich, darüber nachzudenken. Der Autor versteht es, auch Leser ohne technische Kenntnisse in das Gebiet einzuführen.

Elektromobilität bietet gute Möglichkeiten, hat aber auch ihre Grenzen. Der Leser wird befähigt, sich selbst ein Urteil zu bilden. Der Autor ist Physiker und hat in seinem Berufsleben auf dem Gebiet der Mikroelektronik gearbeitet.