

Johannes Ritz

# Mobilitätswende – autonome Autos erobern unsere Straßen

Ressourcenverbrauch, Ökonomie  
und Sicherheit



 Springer

# Mobilitätswende – autonome Autos erobern unsere Straßen

Johannes Ritz

# Mobilitätswende – autonome Autos erobern unsere Straßen

Ressourcenverbrauch,  
Ökonomie und Sicherheit

 Springer

Johannes Ritz  
Weingarten, Deutschland

ISBN 978-3-658-20952-0      ISBN 978-3-658-20953-7(eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-20953-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort: Mehr Nachhaltigkeit wagen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Die Abrechnung: Sterben unsere Autos aus?</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Elektromobilität: Was bremst den Erfolg elektrischer Fahrzeuge?</b>	<b>9</b>
3.1	Die alte Reichweitendiskussion: Wie weit kommt man mit einer Batterieladung?	10
3.2	Ladeinfrastruktur: Wie lange braucht man für elektrische Fernfahrten?	13
3.3	Eine neue Reichweitendiskussion: Wie lange hält ein Elektroauto?	15
3.4	Die Verkehrswende	17

<b>4</b>	<b>Zukunft</b>	21
<b>5</b>	<b>Autonome Fahrzeuge</b>	27
5.1	Was sind autonome Fahrzeuge?	28
5.2	Wie weit ist der Stand der Technik?	37
5.3	Wie werden unsere Autos autonom?	40
5.4	Wie würde eine autonome Fahrt verlaufen?	62
<b>6</b>	<b>Folgeinnovationen</b>	67
6.1	Autonomes Parken – Transformieren autonome Fahrzeuge unsere Städte?	68
6.2	Autonomes Tanken – Neue Chancen für die Elektromobilität?	75
6.3	Autonome Nutzfahrzeuge – Welche Aufgaben übernehmen autonome Nutzfahrzeuge?	79
<b>7</b>	<b>Automatisierte Logistik</b>	83
7.1	Warentransport auf der Straße	85
7.2	Wie werden Pakete autonom ausgeliefert?	89
7.3	Der automatisierte Hafen	93
7.4	Bringt die Sharing-Economy neue Wachstumsimpulse?	96

<b>8</b>	<b>Autonomes Carsharing – Das Ende vom Privatauto?</b>	101
8.1	Was kostet und nutzt uns unser Privatauto?	101
8.2	Welche Chancen bietet Carsharing?	103
8.3	Welche Potenziale stecken im autonomen Carsharing?	106
8.4	Verhilft autonomes Carsharing Elektroautos zum Durchbruch?	111
8.5	Mobilitätsanbieter	114
8.6	Wie verändert autonomes Carsharing das Auto?	116
<b>9</b>	<b>Ökonomische Betrachtungen</b>	119
9.1	Was kostet uns die autonome Mobilität?	120
9.2	Machen uns autonome Fahrzeuge arbeitslos?	125
9.3	Sind Automobilhersteller dem Wandel gewachsen?	134
9.4	Ein neues Bedienkonzept	137
<b>10</b>	<b>Die fahrerlose Gesellschaft</b>	141
10.1	Dürfen autonome Autos für uns entscheiden?	142
10.2	Das Ende des Autokults?	147
10.3	Neue Freiheiten – Wer wird mobiler?	149

<b>11</b>	<b>Juristische Betrachtungen</b>	151
11.1	Welche neuen Rechte und Pflichten kommen auf uns zu?	152
11.2	Können Maschinen moralisch handeln?	153
11.3	Dürfen wir autonome Fahrzeuge legalisieren?	161
11.4	Haftungsfragen	163
<b>12</b>	<b>Autonome Datenverarbeitung</b>	175
12.1	Warum ist unsere Privatsphäre schützenswert?	176
12.2	Ist es zu spät für einen effektiven Datenschutz?	178
12.3	Autonome Sensornetzwerke – Welchen Mehrwert bringt die Vernetzung?	182
<b>13</b>	<b>Die Schattenseiten des autonomen Fahrens</b>	187
13.1	Technikmissbrauch	187
13.2	Wie stiehlt man autonome Fahrzeuge?	191
13.3	Cybersicherheit: Dürfen wir autonome Fahrzeuge vernetzen?	195
<b>14</b>	<b>Megatrends</b>	207
14.1	Demografische Entwicklungen	208
14.2	Die globale Erderwärmung	215
14.3	Die Grenzen des Wachstums	224

	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>15 Die Mobilitätswende</b>		229
<b>Quellenverzeichnis</b>		233
<b>Sachwortverzeichnis</b>		245

# 1



## Vorwort: Mehr Nachhaltigkeit wagen

Wir leiden unter dem Fluch der Kurzzeitigkeit. Wenn wir mit einem privaten, professionellen oder gesellschaftlichen Problem konfrontiert sind, betrachten wir nur allzu oft kurzfristige Problemlösungen.

Ein typisches Beispiel für Kurzzeitleösungen sind Sandsäcke. Wenn eine Überschwemmung droht, bauen wir hektisch Barrieren aus Sandsäcken auf. In den meisten Fällen halten die Sandsackbarrieren, bis der Wasserpegel wieder auf ein normales Niveau gesunken ist. Wir bauen die Notlösungen wieder ab, reparieren kleinere Schäden und machen weiter wie bisher – bis zum nächsten Hochwasser und zum nächsten und so weiter. Solche kurzzeitigen Sandsack-Interventionen sind verlockend. Sie erfüllen ihren Zweck. Sie sichern Politikern die Wiederwahl oder helfen Managern, die Quartalsziele zu erreichen. Und sie bieten einen

kurzen Ausweg, um sich nicht mit harten Entscheidungen auseinandersetzen zu müssen.

Langfristig betrachtet sind kurzzeitige Planungen schädlich. Sie hindern uns daran, von Anfang an das Richtige zu tun, und binden Ressourcen zur Symptombekämpfung. Bei regelmäßigen Überschwemmungen sollte jeder in die Instandhaltung des Dammes, der die Gemeinschaft schützt, investieren, anstatt jedes Mal vor seinem eigenen Haus Sandsäcke aufzubauen. Kurzzeitige Planungen haben Deutschland in den Afghanistankrieg verwickelt, ohne eine Ausstiegsstrategie zu haben. Kurzzeitige Überlegungen überschatten den Umgang mit Flüchtlingen. Kurze Zeithorizonte verhindern, dass Firmenchefs teure Sicherheitsvorrichtungen kaufen. Die Katastrophe der Ölbohrstation „Deepwater Horizon“ hätte verhindert werden können, wenn mehr Wert auf Sicherheit gelegt worden wäre.

Der größte Schaden entsteht dadurch, dass wir es gar nicht wagen, große Probleme anzugehen. Jeder von uns ist von Kurzfristigkeit betroffen und jeder von uns handelt kurzfristig. Folgende Denkanstöße können uns unterstützen, größere Zusammenhänge zu erkennen und nachhaltiger zu planen, wenn wir eine bedeutende Entscheidung fällen müssen.

- Generationsübergreifend denken – Wenn wir die Folgen unseres Handelns betrachten, wollen wir größere Zeiträume erfassen – mehr als nur die eigene Lebensspanne. Im Umgang mit unseren Kindern können wir diesen generationsübergreifenden Ansatz auch im Alltag anwenden. Denn alles, was wir ihnen vermitteln, geben sie mit hoher Wahrscheinlichkeit auch an ihre Kinder weiter.

- Technikutopien überwinden – Es gibt mehr Zukunftsthemen als nur Technik. Die Menschheit sollte sich auf allen Gebieten verbessern. Die meisten Zukunftsbilder, kennen leider nur das Thema Technik und ignorieren dabei größere Potenziale, die in unserer Gesellschaft stecken. Wenn wir in der Gruppe Zukunftsbilder entwickeln, sollten wir uns nicht thematisch einschränken. Im Gegenteil – es ist zentral, dass wir die Diskussion offenhalten und mehrere, konkurrierende Zukunftsbilder betrachten.
- Den Sinn und Zweck verdeutlichen – Warum machen wir das, was wir machen? Welche Ziele wollen wir damit erreichen? Mit welcher Strategie gehen wir dabei vor? Jeder stellt sich Sinnfragen und jeder braucht Antworten. Wenn wir mit unseren Zielen einverstanden sind, motivieren sie uns. Gemeinsame Ziele schweißen ein Team zusammen. Und nur mit unseren Zielen vor Augen erkennen wir, ob wir das Richtige machen.
- Kontinuierliche Weiterentwicklung – Wir haben immer nur eingeschränkte Einblicke in die Zukunft. Daher reicht es nicht aus, nur einmal vor auszuplanen. Wir müssen unseren aktuellen Standpunkt und unsere langfristigen Zielvorstellungen regelmäßig überprüfen und weiterentwickeln.

Was die Leitgedanken aus Ari Wallachs Rede „Three Ways to plan for the (very) long term“ nicht verraten, [1] ist die Komplexität, zukünftige Entwicklungen abzuschätzen – die Basis für viele langfristige Planungen. Autonomes Fahren ist die vielleicht wichtigste sozio-ökonomische Entwicklung der kommenden Jahrzehnte. Selbstfahrende Fahrzeuge

haben eine gesellschaftliche Tragweite, denn sie verändern, wie wir arbeiten und leben werden. Autonome Autos gehen alle etwas an und keiner wird sich ihren Auswirkungen entziehen können. Das Buch soll den Blick für selbstfahrende Fahrzeuge und deren Folgen schärfen. Es soll den Themenkomplex verständlicher machen und zum Weiterdenken anregen – mit dem Ziel, die Zukunft aktiv mitgestalten zu können. Wir wollen die Zukunft angehen wie ein Sprinter in der Startposition, kurz bevor das Rennen beginnt: alle Muskeln angespannt. Fokussiert. Angriffslustig.

# 2



## Die Abrechnung: Sterben unsere Autos aus?

Autos sind wichtig. Ohne sie könnten wir kaum unsere täglichen Aufgaben erledigen. Große Teile der Wirtschaft bauen Autos oder produzieren Teile für den Automobilbau. Und praktisch kein Unternehmen kommt ohne Autos oder Lastkraftwagen aus. Fast unsere ganze Verkehrsinfrastruktur ist für Autos ausgelegt. Deutschland, ein Autoland. Wobei – eigentlich ist das Auto aus keinem Land mehr wegzudenken.

Die Autos, die wir heute fahren, sind jedoch Ungetüme aus dem vergangenen Jahrhundert. Um voranzukommen, verbrennen sie fossile Treibstoffe und produzieren dabei Lärm und Abgase. Die Effizienz der Verbrennungsmotoren steigerte sich zwar im Laufe der Zeit beachtlich, trotzdem verbrauchen heutige Autos nicht deutlich weniger Treibstoff. Das liegt vor allem daran, dass mit den

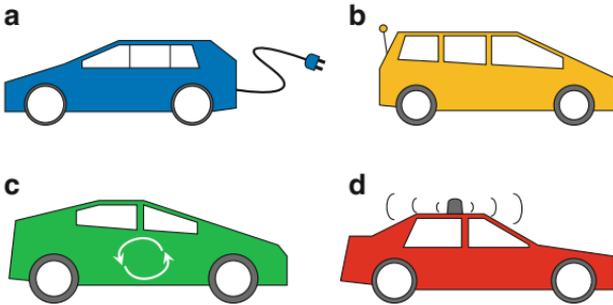
effizienteren Motoren gleichzeitig auch größere und schwerere Modelle auf den Markt kamen. Verbrennungsmotoren nutzen immer noch weniger als 40 % der Energie im Treibstoff zur Fortbewegung. Der Großteil der Energie geht als Abwärme verloren. Energetisch betrachtet sind Autos also Heizkörper, die sich nebenbei auch bewegen können.

Zeitlich gesehen ist die Effektivität von Autos sogar noch schlechter. Da das durchschnittliche Auto zu 95 % der Zeit steht und in nur 5 % der Zeit wirklich benötigt wird, kann man Autos auch als „Stehzeuge“ verspotten. Und in den 5 % der Zeit, in denen man mit dem Auto unterwegs ist, steht man in Deutschland durchschnittlich 36 Stunden pro Jahr im Stau. Das Gewicht eines Autos ist ebenfalls suboptimal. Verglichen mit dem Gewicht seiner Fahrgäste ist es in der Regel zehnmal schwerer. Das vergleichsweise größte Problem der Autos ist aber deren Sicherheit. Wenn man im Flieger nach New York sitzt, dann hat man bereits das größte Risiko der Reise hinter sich – nämlich die 30 km Anfahrt zum Flughafen mit dem Auto. Eigentlich sollten wir Angst vor dem Fahren und nicht vor dem Fliegen haben.

All diese Unzulänglichkeiten sind Probleme des vergangenen Jahrhunderts. Das Auto, wie wir es kennen, wird aussterben. Weil es bessere technische und wirtschaftlichere Lösungen gibt, die sogar noch mehr können, als die genannten Probleme zu lösen.

Vier zunächst einmal unabhängige Entwicklungstrends fließen in das Auto der Zukunft ein (Abb. 2.1):

- a) das Elektroauto, das mit Batterie und Elektromotor angetrieben wird;



**Abb. 2.1** Vier Zukunftstrends des Autos. (a) Das Elektroauto. (b) Das vernetzte Auto. (c) Das geteilte Auto. (d) Das autonome Auto

- b) das vernetzte Auto, das mit seiner Umwelt direkt kommuniziert und mit dem Internet verbunden ist;
- c) das geteilte Auto, das als öffentliches Auto mehreren Nutzern zur Verfügung steht;
- d) das autonome Auto, bei dem der Computer das Steuer übernimmt.

Dieses Buch geht auf diese einzelnen Zukunftstrends ein, deckt Zusammenhänge dieser Entwicklungen auf und zeigt, wie die Nachteile des heutigen Autos dabei verbessert werden.

# 3



## Elektromobilität: Was bremst den Erfolg elektrischer Fahrzeuge?

Begeben wir uns zu den Anfängen des Automobils – eine Zeit, geprägt von der Dampfmaschine, als die ersten Autos eher wie Pferdekutschen aussahen und man Benzin in der Apotheke kaufte. Im Jahr 1900 gab es in den USA 40 % dampfbetriebene Autos, 38 % Elektroautos und nur 22 % Benziner.[2] Damals war noch offen, welche Technologie sich durchsetzen sollte. Gegenüber Elektroautos mit Bleiakkus konnten Verbrenner eine sehr viel größere Reichweite vorweisen und waren günstig zu betanken. Gegenüber Dampfautos waren sie effizienter und praktischer in der Handhabung. Und als die Verbrenner nicht mehr per Kurbel, sondern bequem per elektrischer Zündung angelassen werden konnten, wurden sie zum Favoriten. Autos mit Verbrennungsmotor brauchten von da an etwa ein Jahrzehnt, um Elektroautos in die Nische zu verdrängen.

Dass sich die ersten Elektroautos nicht behaupten konnten, lag nicht am Motor, sondern an der geringen Speicherkapazität des Bleiakkus. Elektromobilität spielte sich ab 1910 vor allem dort ab, wo sie nicht auf die Energieversorgung aus Bleiakkus angewiesen war. So entstanden Lokomotiven, Straßenbahnen und Busse, die über Oberleitungen mit Strom versorgt wurden. In diesen Nischen hat sich der Elektromotor bis heute bewährt. Außerdem nahm er eine zentrale Rolle in der industriellen Produktion ein. Im Lauf der Zeit verbesserten sich die Akkus langsam, aber beachtlich. Die nachfolgenden Akkutechnologien basierten erst auf Nickel und in den letzten Jahren auf Lithium. Ein heutiger Lithium-Ionen-Akku hat etwa die vierfache Energiedichte wie ein vergleichbarer Bleiakku. Allerdings ist seine Energiedichte immer noch neunmal geringer als die von Diesel oder Benzin. Damit ist eine technische Grundlage gelegt, welche die Möglichkeit eröffnet, dass sich der Antrieb der Autos abermals binnen Jahrzehnten ändert. Nachdem der Verkehr ein Jahrhundert lang vom Verbrennungsmotor geprägt wurde, ist es an der Zeit, dessen Potenzial neu zu bewerten.

### **3.1 Die alte Reichweitendiskussion: Wie weit kommt man mit einer Batterieladung?**

Elektroautos auf dem Stand der Technik, wie Teslas Model S aus Abb. 3.1, kommen auf Reichweiten von etwa 500 km. Das bedeutet aber auch, dass der Akku so groß ist, dass er



**Abb. 3.1** Model S von Tesla, CC BY 4.0, von raneko (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43524338>)

knapp 30 % des Gewichts des Autos ausmacht.[3] Große Akkus machen Elektroautos teuer. Je nach Schätzung kostet der 90 kWh Akku von Teslas Model S zwischen \$17.000 und \$23.000.[4] Gerade wegen des hohen Akkupreises werden Elektroautos so entworfen, dass deren Energieverbrauch sinkt. Um Gewicht zu sparen, besteht die Karosserie von Teslas Model S aus Aluminium anstatt aus Stahl. Je leichter ein Auto ist, desto weniger Energie braucht es, um zu beschleunigen, und desto geringer ist der Rollwiderstand. Bei schneller Fahrt führt die stromlinienförmige Karosserie zu einem geringen Luftwiderstand. Aus wirtschaftlichen Gründen sind große Akkus den Oberklassefahrzeugen vorbehalten. Und ebendiese hohen Kosten veranlassen Autobauer, Elektroautos mit vergleichsweise kleinem Akku



**Abb. 3.2** Leaf von Nissan, CC BY 2.0, vom California Air Resources Board (<https://flic.kr/p/pepEfy>)

zu bauen. Nissans Leaf aus Abb. 3.2 ist zur Zeit das weltweit meistverkaufte Elektroauto. Sein Akku speichert nur 30 kWh Energie, was einer Reichweite von 172 km (EPA) entspricht.[5]

### **Exkurs: Die wahre Reichweite**

Wer ein Elektroauto fährt, weiß, dass die Reichweite eines Elektroautos keiner festen Kilometerzahl entspricht. Am weitesten kommt man, wenn man auf ebener Strecke bei konstanten 70 km/h, mit Rückenwind, recht warmer Außentemperatur und abgeschalteten Verbrauchern wie Klimaanlage und Autoradio fährt. In der Praxis kann man die maximale Reichweite nicht erreichen, weil man zwangsläufig von den Optimalbedingungen abweicht. Und weil

diese Abweichungen immer anders sind, gibt es keine wahre Reichweite. Besonders im Winter, bei hoher Steigung oder bei schneller Fahrt, wird die vom Hersteller angegebene Reichweite in der Praxis deutlich unterschritten. Wenn die Autohersteller die Reichweite nach dem neuen europäischen Fahrzyklus (NEFZ) angeben, ist die Reichweite zu optimistisch. Praxisnäher sind die Reichweiteangaben nach EPA oder WLTP.

Mit den kleinen Akkus entbrennt die Diskussion um den Energieverbrauch und die Reichweite von Elektroautos. Die Reichweite ist jedoch nur das Symptom zweier fundamentaler Probleme, die den Erfolg von Elektroautos behindern: die hohen Akkukosten und die fehlende Ladeinfrastruktur.

## 3.2 Ladeinfrastruktur: Wie lange braucht man für elektrische Fernfahrten?

Beim Laden von Elektroautos gibt es zwei bedeutende Anwendungen: das tägliche Pendeln zwischen Wohnort und Arbeitsplatz und längere Fernfahrten. Im Alltag reicht es aus, das Auto in der heimischen Garage über Nacht zu laden. Bei längeren Fahrten sind Elektroautos auf ein Netz von Schnellladestationen entlang von Autobahnen und Bundesstraßen angewiesen. Diese sollen den Akku innerhalb von 30 Minuten auf 80 % laden. Mit dem alltäglichen Ladeverfahren wären die Ladezeiten unerträglich lange. Für Tesla Motors hat ein Schnellladernetz strategische Bedeutung, um ihre Elektroautos noch attraktiver zu

machen. Deshalb hat Tesla Pionierarbeit geleistet und ein „Supercharger“-Ladenetz geschaffen. Durch ein Schnellladenetz wird die Reichweitendiskussion in eine neue Richtung gelenkt. Elektroautos erreichen jedes Ziel, brauchen aber Zeit für Ladepausen.

In einem Punkt ist hier Tesla kein gutes Vorbild: Nur Teslafahrer können „Supercharger“ nutzen. Langfristig brauchen wir aber eine öffentliche und einfach zugängliche Ladeinfrastruktur, die folgende Anforderungen erfüllt:

- Vereinheitlichte Bezahlung. Egal wer eine öffentliche Elektrotankstelle betreibt – jeder soll Zugang zu ihr haben können und über einen vereinheitlichten Weg bezahlen können.
- Vereinheitlichte Ladestecker. Wenn man eine Elektrotankstelle gefunden hat, möchte man sein Auto auch laden können. Deswegen sollte jede Ladesäule einen gemeinsamen Ladekupplungsstandard anbieten.

In Deutschland sorgt seit 2015 die Ladesäulenverordnung dafür, dass jede neue Schnellladesäule ein Auto mit CCS-Kupplung versorgen kann, jede neue langsam ladende Ladesäule einen Typ2-Stecker hat und die Standorte dieser Ladesäulen registriert werden. Die vereinheitlichte Bezahlung lässt noch auf sich warten; die unterschiedlichen Zahlungswege bremsen die Elektromobilität.

### 3.3 Eine neue Reichweitendiskussion: Wie lange hält ein Elektroauto?

Elektroautos sind viel einfacher gebaut als Autos mit Verbrennungsmotor. Der herkömmliche Antriebsstrang enthält etwa 2000 bewegliche Teile; im elektrischen Antriebsstrang sind es um die 20.[6] Elektromotoren sind etwa viermal langlebiger als Verbrennungsmotoren und brauchen nur ein einfaches Getriebe anstatt eines Schaltgetriebes mit Kupplung. Elektroautos brauchen keinen Tank, Auspuff, Schalldämpfer, Katalysator, Rußpartikelfilter und keine Lichtmaschine. Das vereinfacht die Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen. Es ist eine Erklärung, warum es jungen Unternehmen wie der Post Tochtergesellschaft StreetScooter GmbH, Sono Motors GmbH und der e.GO Mobile AG gelingt, elektrische Fahrzeuge zu entwickeln beziehungsweise zu produzieren. Außerdem setzen diese Unternehmen auf Standardkomponenten von Autozulieferern, vereinfachte Produktionsprozesse beim Stanzen der Bleche und beim Lackieren der Karosserie, sowie neue Nutzungskonzepte.[7] Weil durch die vereinfachten Produktionsprozesse Investitionskosten in Millionenhöhe entfallen, können diese Firmen auch mit deutlich geringeren Stückzahlen Skaleneffekte erzielen.

Unter den häufigsten zehn Bauteilen, die an einem normalen Auto repariert werden müssen, findet sich keines, das in einem Elektroauto vorkommt.[6] Wenn bei einem Auto immer mehr Bauteile ausfallen und sich die Werkstattbesuche häufen, ist dies ein Anzeichen, dass es sein Lebensende erreicht hat. Elektroautos haben die Grundvoraussetzung,

viel länger als Verbrenner zu halten. Allerdings muss der Akku als wichtigstes und teuerstes Bauteil in die Betrachtung mit aufgenommen werden.

## Wie lange hält der Akku?

Generell altert der Akku mit der Zeit und bei der Nutzung. Deswegen begrenzen die Autohersteller ihre Garantiezusagen in Bezug auf Zeit und Fahrleistung. Beim Nissan Leaf wird 75 % der Akkukapazität für 8 Jahre bei maximal 160.000 km Fahrtstrecke zugesagt. Der Akku altert besonders schnell, wenn er zu warm wird. Deswegen ist es wichtig, dass er bei hohen Ladeströmen und bei hoher Umgebungstemperatur aktiv gekühlt wird – vorzugsweise mit einer Wasserkühlung. Die Akkulebensdauer sinkt auch, wenn er ganz leer oder ganz voll ist. Idealerweise wird der Akku mit vielen kleinen Lade- und Entladezyklen im Bereich zwischen 80 % und 20 % betrieben und nur gelegentlich voll aufgeladen, um unterschiedliche Zellspannungen wieder auszugleichen. Aus diesem Grund gehen die Hersteller von Elektroautos dazu über, einen Teil der Akkukapazität zu reservieren, um die Langlebigkeit des Akkus zu verbessern. Je größer die Akkukapazität, desto geringer wird er insgesamt belastet. Die US-Verbraucherorganisation „Plug In America“ ermittelte 2013, dass der Akku eines Tesla Roadsters nach 160.000 km noch 80 % bis 85 % der Anfangskapazität hat.[8] Es gibt Anzeichen, dass die Akkuqualität im Model S im Vergleich dazu mehr als verdoppelt wurde.[9, 10]

Für die Wirtschaftlichkeit von Elektroautos ist deren Langlebigkeit und insbesondere die Langlebigkeit des Akkus entscheidend. Damit sich Betreiber von Autoflotten für

Elektroautos und gegen Verbrenner entscheiden, müssen Elektroautos geringere Gesamtkosten als Verbrenner verursachen. Je mehr Kilometer ein Elektroauto zurücklegt, desto geringer fallen die erhöhten Investitionskosten ins Gewicht und desto stärker treten die geringeren Betriebskosten in den Vordergrund.

### 3.4 Die Verkehrswende

Die Grundvoraussetzung für die Wende hin zu Elektrofahrzeugen ist, dass in den nächsten Jahren kein besseres Antriebskonzept entsteht.

Mit der gegebenen Batterietechnik ist es eine Frage der Zeit, bis Elektroautos mit herkömmlichen Autos in einen Verdrängungswettbewerb treten. Ein Rückzugsgefecht, bei dem sich Verbrenner nur in Bereichen behaupten können, die eine hohe Dauerleistung erfordern. Fahrzeuge mit großem Energiehunger wie Lastkraftwagen, Flugzeuge und große Schiffe sind vorerst weiterhin auf den Verbrennungsmotor und Kraftstoffe angewiesen. Züge sind hier die rühmliche Ausnahme – vorausgesetzt, das Bahnnetz ist elektrifiziert. Die Preisentwicklung des Akkus ist der bedeutendste Indikator für die Verkehrswende. Wenn die Produktionskosten des Akkus auf \$100/kWh sinken, gleicht sich der Kaufpreis von Elektroautos dem der Verbrenner an. Im optimistischen Szenario ist dies 2025 soweit, im pessimistischen Szenario erst 2030.[11]

Wenn die Nutzer sich mit dem Energiemanagement eines Elektroautos arrangieren, erhalten sie im Gegenzug neue Fahrfreuden. Es ist vergleichsweise einfach, ein sport-