

The background of the book cover is dark blue. It features three cars, shown from a top-down perspective, arranged vertically. Each car is surrounded by concentric circles of varying colors (blue, purple, pink) that represent sensor waves or radar. The circles are more prominent around the middle and bottom cars. The overall aesthetic is futuristic and technological.

Cornel Stan

# Automobile der Zukunft

mehr als nur  
elektrisch, digital, autonom

SACHBUCH



Springer

---

# Automobile der Zukunft

---

Cornel Stan

# Automobile der Zukunft

mehr als nur  
elektrisch, digital, autonom

 Springer

Cornel Stan  
Markkleeberg, Deutschland

Professor Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr. h.c. mult. CORNEL STAN  
Forschungs- und Transferzentrum e.V.  
an der Westsächsischen Hochschule Zwickau

ISBN 978-3-662-64115-6      ISBN 978-3-662-64116-3    (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-64116-3>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2021

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

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

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.

Planung/Lektorat: Markus Braun

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

## Vorwort

Die Automobile der Zukunft und ihre Antriebe werden von einer großen Vielfalt geprägt sein, die von geographischen, wirtschaftlichen, klimatischen und ökologischen Bedingungen, aber auch vom Kundenwunsch bestimmt werden.

Ein Universalauto, einheitlich, elektrisch, digital und autonom hat nur eine begrenzte Daseinsberechtigung. Es ist genauso unbestreitbar wie unaufhaltsam, dass sich der Lebensraum der Menschen auf der Erde zügig hin zu Mega-Metropolen verlagert. Die geänderte Verteilung ihres Lebensraums hat zum großen Teil auch den konnektivitätsbestimmten Lebensinhalt der Menschen beeinflusst, und in Folge dessen auch ihre Mobilitätsbedürfnisse. Die Automobile der Zukunft können dennoch nicht auf diese Tendenz reduziert werden, auch wenn die „Autonomobile“ konkurrenzlos in den Großstädten sein werden.

Die Automobile verbreiteten sich in der Welt bereits am Beginn des XIX. Jahrhunderts wie Lauffeuer. Neben Reiter und Pferdewagen erschienen Limousinen, Cabriolets, Motorräder. Die Visionen reichten aber viel weiter, Mobilität in der Stadt, dann Mobilität auch über die Stadt: Zeppeline, Ballons, Doppeldecker, taumelten über die fahrenden Autos. Im XX. Jahrhundert wurden die Städte immer größer und die Straßen immer voller, aber von Luftfahrzeugkolonnen über den

Köpfen, Straßen und Häusern wurden wir doch verschont. Noch.

Die Automobile mit Elektroantrieb, welche um 1900 die Welt eindeutig prägten, verschwanden relativ schnell. Jene mit Benzinmotoren nahmen zu, die Anzahl ihrer Kolben auch. Benzin gab es ausreichend und es kostete nicht viel. Ab der Mitte des Jahrhunderts gesellten sich zu den Benzinern immer deutlicher die Dieselmotoren, die nicht nur weniger Kraftstoff verbrauchten, sondern auch Drehmoment fast vom Start lieferten. Zwei Erdölkrisen stellten aber die Mobilität auf Erdölbasis plötzlich wieder in Frage. Die Elektroautos erschienen auf einmal erneut und verschwanden genauso schnell vom Markt, aus dem gleichen Grund wie beim ersten Anlauf: geringe Reichweite, schwere, große und teure Batterien.

Am Beginn des XXI. Jahrhunderts wurde der direkte Zusammenhang zwischen der Erderwärmung und der Kohlendioxidzunahme in der Atmosphäre durch die Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas immer deutlicher. Die Angst um den Weltuntergang sprach dafür zuerst die Mobilität schuldig, obwohl sie deutlich weniger Aktien daran hat als andere Energieverbraucher, wie Industrie, Bau oder Hauswärme. Und Mobilität beginnt nicht beim Bagger, Flugzeug oder Containerschiff, sondern beim Automobil: Es hat wieder elektrisch zu werden, sagen Gesetzgeber und Medienmacher, ohne die Ingenieure nach einer adäquaten Lösung zu fragen. Zugegeben, die Luft in den wachsenden und dicht bevölkerten Ballungsgebieten ist kaum noch zu atmen, sowohl wegen Schadstoffen aus Verbrennungen aller Art, als auch wegen

der lokalen Konzentration des emittierten Kohlendioxids, welche die Sauerstoffkonzentration sinken lässt. Für solche Ballungsgebiete sind elektrisch angetriebene, einheitliche „Autonobile“ nicht nur empfehlenswert, sondern auch dringend erforderlich.

Das Buch beschreibt wie moderne Tablet-Träger bewegt werden wollen, aber auch wie ein Automobil zwischen Akzeptanz, Vorschriften, Sicherheit und Konnektivität entsteht. Funktionen und Strukturen, Gestaltung von Klimatisierung, Beleuchtung und Sound, moderne Karosserien, Materialien und modulare Fahrzeugbauarten werden leicht verständlich präsentiert. Dem brennenden Thema Alternative Antriebe wird die gebührende Aufmerksamkeit gewidmet: Die dargestellten Elektromotoren, Brennstoffzellen mit Wasserstoff, Batterien, Kolbenmotoren und Kompakt-Gasturbinen werden in zum Teil unerwarteten Antriebsszenarien gruppenweise verknüpft. Zukünftige, klimaneutrale Treibstoffe für Automobile der Zukunft werden aufgeführt und bewertet.

Die moderne Welt wurde allerdings nicht nur von der Mobilität geprägt: Genau so groß ist der ständige Drang der Menschen am aktuellen Geschehen. So weit und breit wie möglich, ohne Zeitverzug teilzuhaben, war bislang vom Rundfunk, Telegraph und Telefon, dann vom Fernseher befriedigt. Die rasante Entwicklung der Elektronik, dann der Informatik hat aber neue Wege zur großen und so komplex gewordenen Welt eröffnet: gleichzeitig mit vielen Freunden kommunizieren, Fotos, Clips und Impressionen austauschen oder einen Tisch beim Italiener bestellen. Die Großstadtmenschen, und insbesondere die jüngeren davon, sind nicht mehr bereit, auf diesen jederzeit möglichen

Kontakt mit der Welt zu verzichten. Die Kombination mit der „toten Zeit“ während der Mobilität wurde zwangsläufig. Dass man dabei die reale Umgebung nicht mehr direkt, sondern zunehmend als „Augmented Reality“ wahrnimmt, das ist eine andere Geschichte.

Für die ständige Konnektivität, über Smartphones und Displays braucht man aber im Auto sehr bequeme Liegen. Das Auto soll unter solchen Bedingungen autonom fahren, bei Stau über die Straße fliegen. Für ein solches Szenario ist die Elektroenergie maßgebend, deswegen muss sie dann auch den Antrieb bedienen. Was soll man einer solch idealen Lösung, mit viel Nutzraum in einem kompakten Volumen, elektrisch und selbstfahrend, mit maximaler Konnektivität, noch hinzufügen? Sie braucht keine weitere Ergänzung, keine Varianten. Sie ist einzigartig, universell.

Auf unserem Planeten mit derzeit 7,8 Milliarden Menschen und 1,35 Milliarden Automobilen gibt es bereits Dutzende von Mega-Metropolen mit jeweils mehr als 20 Millionen Einwohnern, von Tokyo und Shanghai bis Delhi, Sao Paolo und New York. Sie brauchen Automobile.

Und der Rest der Welt?

Auf den steilen Alpenstraßen bei Schneematsch, durch die Wüste der Sahara bei plus 40°C, im feuchten und schweren Gelände des Amazonas, in Alaska oder Sibirien bei minus 30°C, braucht die Welt andere Fahrzeuge. Für Familien mit zahlreichen Mitgliedern, die Gemüseboxen, Feuerholz und Baumaterial transportieren müssen, auch. Pick Ups, Kombis und SUVs wer-

den von vielen Menschen stark nachgefragt. Die Genießer brauchen Cabrios. Und der noble Herr wird immer ein Auto der Luxusklasse vor seiner Villa haben wollen, während dem bescheidenen Familienvater ein Dacia vor dem Plattenbau genügt. Darüber hinaus: Jedes Auto, ob mit Elektro- oder Kolbenantrieb, selbstfahrend oder mit Fahrer, braucht Module für aktive und passive Sicherheit, für die besagte Konnektivität, für die Klimatisierung, für den Komfort, für die Fahreigenschaften, für die Lenkung und Federung, für Alkohol-, Wasserstoff- oder Stromspeicherung, für die Beleuchtung, Heizung und Klimaanlage.

Ein Zukunftsauto ist weitaus komplexer als eine dünne Schale, die einen Elektromotor und Steuerelektronikeinheiten umhüllt.

In diesem Buch werden in verständlicher Form wesentliche Aspekte der funktionellen und technischen Entwicklung der zukünftigen Automobile dargestellt.

Das Thema Automobile der Zukunft ist geprägt von Vielfalt und Komplexität. Deswegen werden viele Funktionen, Prozesse und Erkenntnisse in diesem Buch auch als Thesen zusammengefasst. Die These ist eine Behauptung, deren Wahrheit in der Regel eines Beweises bedarf. Der kann aus theoretischen und experimentellen Erkenntnissen abgeleitet werden. Es gibt auch Thesen, die auf Postulaten basieren. Und wiederum andere Thesen, die kritische Zusammenfassungen von Geschehnissen sind.

Manche Thesen in diesem Buch resultieren aus den Darstellungen, als Schlussfolgerungen, andere sind Behauptungen, die den Leser zunächst provozieren sollen, wonach sie auch doch begründet werden.

## Vorwort

Die Leser dieses Buches werden hoffentlich bei der angebotenen, sachlichen und leicht verständlichen Argumentation genauso viel Neugierde verspüren, wie die Teilnehmer an den zahlreichen Vorlesungen und Vorträgen des Autors zum Thema „Automobile der Zukunft“ - Studenten und Doktoranden in Universitäten, sowie Unternehmerverbände, Organisationen und Vereine aller Art, in Deutschland, Italien, Frankreich, Portugal, Rumänien, Spanien, der Türkei, in Israel und den USA in den letzten Jahren.

Cornel Stan

Zwickau, Deutschland, Juli 2021

# Inhaltsverzeichnis

|                     |          |
|---------------------|----------|
| <b>Vorwort.....</b> | <b>V</b> |
|---------------------|----------|

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b> | <b>XI</b> |
|---------------------------------|-----------|

|                                                                                        |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Teil I    Entwicklungsbedingungen für<br/>          zukünftige Automobile .....</b> | <b>1</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|

|     |                                                                                        |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Das Automobil als Tabletokraten-Beweger ....                                           | 3  |
| 1.1 | Die Menschen .....                                                                     | 4  |
| 1.2 | Die Automobile.....                                                                    | 6  |
| 1.3 | Die Kommunikation.....                                                                 | 8  |
| 1.4 | Das autonome Fahren .....                                                              | 11 |
| 2   | Die drei Revolutionen des<br>Elektroautomobils.....                                    | 18 |
| 2.1 | Die erste Elektroauto-Revolution<br>(1881 – 1900).....                                 | 20 |
| 2.2 | Die zweite Elektroauto-Revolution<br>(1992 - 2005).....                                | 23 |
| 2.3 | Die dritte Elektroauto-Revolution –<br>ab dem Beginn des dritten<br>Jahrtausends ..... | 30 |
| 3   | Automobile Welt und ihre Umwelt .....                                                  | 42 |
| 3.1 | Smog ist nicht gleich Smog .....                                                       | 42 |
| 3.2 | Smog in der jetzigen Welt.....                                                         | 48 |
| 3.3 | Luft und Emissionen .....                                                              | 52 |
| 3.4 | Das Kohlendioxid .....                                                                 | 54 |
| 3.5 | Die Stickoxide.....                                                                    | 61 |
| 3.6 | Die Partikel und der Staub .....                                                       | 67 |

|                                                                           |                                                                                    |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4                                                                         | Der kontaktfreudige Vierrad-Elektrotänzer..                                        | 74         |
| 4.1                                                                       | Jedes Rad ist ein kraftgeladener,<br>intelligenter Roboter .....                   | 76         |
| 4.2                                                                       | Konnektivität in allen Richtungen .....                                            | 86         |
| 4.3                                                                       | Grenzen und Gefahren der<br>elektrisierten und digitalisierten<br>Freiheiten ..... | 91         |
| 5                                                                         | Was soll mein Auto alles können, außer<br>elektrisch, digital und autonom?.....    | 96         |
| 5.1                                                                       | Vielfalt der Automobilausführungen<br>und Funktionen .....                         | 96         |
| 5.2                                                                       | Hohe Leistung oder doch großes<br>Drehmoment?.....                                 | 106        |
| 5.3                                                                       | Unreine Stadtluft ansaugen, saubere<br>Luft ausstoßen.....                         | 109        |
| 5.4                                                                       | Kalorienbewusst und nur mit<br>Bionahrung seine Arbeit tun .....                   | 115        |
| 5.5                                                                       | Aktive und die passive Sicherheit<br>gewährleisten .....                           | 118        |
| 5.6                                                                       | Mediterranes Klima im Sommer<br>und im Winter verschaffen.....                     | 122        |
| 5.7                                                                       | Manövrierbar sein und wie auf<br>Wolken latschen.....                              | 126        |
|                                                                           | Literatur zu Teil I .....                                                          | 130        |
| <b>Teil II Funktionen und Strukturen zukünftiger<br/>Automobile .....</b> |                                                                                    | <b>135</b> |
| 6                                                                         | Elektrik, Elektromagnetik und Elektronik im<br>Zukunftsauto.....                   | 137        |
| 6.1                                                                       | Elektrische Netzwerke zwischen<br>zahlreichen elektronischen Geräten ...           | 137        |

|      |                                                                                            |     |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2  | Elektromagnetische Wellen in<br>Leitungen, Schaltungen und<br>Geräten aller Art.....       | 142 |
| 6.3  | Wie beeinflussen<br>elektromagnetische Strahlen<br>Menschen und benachbarte Geräte .....   | 147 |
| 7    | Licht und Lichter: Lumen, Laser, LED .....                                                 | 154 |
| 7.1  | Illuminati, Illuminare .....                                                               | 154 |
| 7.2  | Lichtstrom, Lichtstärke,<br>Beleuchtungsstärke .....                                       | 158 |
| 7.3  | Nach Halogen und Xenon,<br>Laserstrahlen gegen<br>Lumineszenzdioden .....                  | 161 |
| 8    | Das Automobil als Treff<br>elektromagnetischer Wellen mit<br>Schallwellen .....            | 172 |
| 8.1  | Wie entstehen und wie schnell<br>strömen Schallwellen .....                                | 172 |
| 8.2  | Dezibel und Sound .....                                                                    | 183 |
| 9    | Ein Auto für alle Sinne .....                                                              | 194 |
| 9.1  | Audio im Auto: Musik und Sprache ...                                                       | 194 |
| 9.2  | Geruch und Beduftung im Auto .....                                                         | 204 |
| 9.3  | Ein Auto lebt von Haptik .....                                                             | 210 |
| 10   | Das Auto als Doktor und als Polizist.....                                                  | 217 |
| 10.1 | Ambulanz und Reha-Zentrum an<br>Bord.....                                                  | 217 |
| 10.2 | Alkoholkontrolle an Bord .....                                                             | 223 |
| 11   | Die Karosserie als Integrator aller Elemente<br>– schön, leicht, geräumig, resilient ..... | 228 |
| 11.1 | Die Karosserie ist viel mehr als nur<br>die Außenhaut eines Automobils .....               | 228 |

|                                                                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.2 Karosseriebauarten: auf Rahmen,<br>selbsttragend, als Skelett .....                                        | 233        |
| 11.3 Karosseriematerialien.....                                                                                 | 237        |
| 11.4 Automobilbau auf Plattformen und<br>in Modulen .....                                                       | 240        |
| 11.5 Revolutionäre Karosserien für neue<br>Antriebsformen?.....                                                 | 242        |
| Literatur zu Teil II .....                                                                                      | 247        |
| <b>Teil III Alternative Antriebe und Energiequellen<br/>für Automobile .....</b>                                | <b>253</b> |
| 12 Modulare und variable Konfiguration des<br>Antriebssystems, von der Energieform bis<br>zur Motorart.....     | 255        |
| 12.1 Antriebsmotoren, Energieträger,<br>Energiespeicher und<br>Energiewandler .....                             | 255        |
| 12.2 Antriebskonfigurationen durch<br>Kombinationen von Motoren,<br>Energiespeicher und<br>Energiewandler ..... | 270        |
| 13 Automobile mit Elektroantrieb und<br>Batterien.....                                                          | 281        |
| 13.1 Elektromotoren für den Antrieb von<br>Automobilen.....                                                     | 281        |
| 13.2 Batterien für Automobile mit<br>Elektroantrieb.....                                                        | 287        |
| 13.3 Automobile mit elektrischem<br>Antrieb .....                                                               | 288        |
| 13.4 Laden der Batterien elektrisch<br>angetriebener Automobile.....                                            | 295        |
| 14 Automobile mit Elektroantrieb und<br>Brennstoffzellen.....                                                   | 299        |

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 14.1 Brennstoffzellen mit Wasserstoff,<br>aber auch mit Methanol und<br>Biodiesel .....                                                             | 299 |
| 14.2 Automobile mit Brennstoffzellen.....                                                                                                           | 308 |
| 14.3 Brennstoffzelle als<br>Stromversorgung für die Funktionen<br>des Antriebs-Verbrennungsmotors .....                                             | 311 |
| 15 Automobile mit Elektroantrieb und<br>Stromgenerator an Bord .....                                                                                | 315 |
| 15.1 Reichweitenverlängerer (Range<br>Extender) als Modul eines<br>„seriellen“ Hybriden .....                                                       | 315 |
| 15.2 Der Zweitaktmotor mit<br>Kraftstoffdirekteinspritzung als<br>Reichweitenverlängerer .....                                                      | 323 |
| 15.3 Der Kreiskolbenmotor (Wankel-<br>Motor) als Reichweitenverlängerer.....                                                                        | 330 |
| 15.4 Der Turbomotor (Gasturbine) als<br>Reichweitenverlängerer .....                                                                                | 333 |
| 15.5 Der Stirling-Motor als<br>Reichweitenverlängerer .....                                                                                         | 337 |
| 16 Automobile mit Antrieb durch<br>Verbrennungsmotor und Elektromotor(en) .                                                                         | 339 |
| 16.1 Warum brauchen die Autos<br>überhaupt noch Otto- und<br>Dieselmotoren? .....                                                                   | 339 |
| 16.2 Parallele und gemischte Hybride,<br>Hybridklassen .....                                                                                        | 353 |
| 16.3 Parallel-Vollhybride mit<br>unterschiedlichen Verbindungsarten<br>oder ohne Verbindung zwischen<br>Verbrennungsmotor und<br>Elektromotor ..... | 356 |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 16.4 Parallel-Vollhybride im Vergleich.....                                                                                               | 361 |
| 16.5 Plug-In-Hybrid-Antriebe.....                                                                                                         | 364 |
| 17 Klimaneutrale Energie für Elektromotoren<br>und für Verbrennungsmotoren.....                                                           | 368 |
| 17.1 Elektroenergie .....                                                                                                                 | 368 |
| 17.2 Wasserstoff.....                                                                                                                     | 374 |
| 17.3 Alkohole: Ethanol und Methanol .....                                                                                                 | 379 |
| 17.4 Methan (Biogas).....                                                                                                                 | 388 |
| 17.5 Pflanzenöle.....                                                                                                                     | 390 |
| 17.6 Dimethylether.....                                                                                                                   | 393 |
| 17.7 Synthetische Kraftstoffe.....                                                                                                        | 394 |
| 18 Was treibt uns morgen an? .....                                                                                                        | 397 |
| 18.1 Die automobilen Vielfalt ist nicht<br>chaotisch.....                                                                                 | 397 |
| 18.2 Automobile für urbane Mobilität:<br>Elektromotorantrieb und<br>Elektroenergiespeicherung an Bord ...                                 | 404 |
| 18.3 Oberklasse-Automobile und SUVs:<br>Hybridantriebe .....                                                                              | 406 |
| 18.4 Kompakt- und Mittelklasse-<br>Automobile: Elektromotorantrieb<br>und Elektroenergieerzeugung an<br>Bord.....                         | 409 |
| 18.5 Preiswerte Automobile mit Antrieb<br>durch einfache Kolbenmotoren mit<br>regenerativen Kraftstoffen, für<br>vielfältige Nutzung..... | 413 |
| 18.6 Klimaneutrale, synthetische<br>Kraftstoffe für die klassischen<br>Kolbenmotoren der bestehenden<br>Automobile.....                   | 416 |
| Literatur zu Teil III.....                                                                                                                | 418 |

|                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Teil IV Wer entwickelt unsere Automobile der Zukunft? .....</b>                                                             | <b>421</b> |
| 19 Das Automobil von der Innovation bis zum Pflichtenheft .....                                                                | 423        |
| 19.1 Innovationen, Erfindungen und Schnapsideen.....                                                                           | 423        |
| 19.2 Der horizontale Hürdenlauf bei der Erschaffung eines Automobils .....                                                     | 429        |
| 19.3 Der kombinierte horizontal-vertikale Hürdenlauf bei der Erschaffung eines Automobils .....                                | 434        |
| 20 Wer bestimmt, was daraus wird: Der Automobilkonzern, die Systemlieferanten, die Modullieferanten oder die Zulieferer?...446 |            |
| 20.1 Das Automobil aus Puzzle-Teilen.....                                                                                      | 446        |
| 20.2 Die Puzzle-Logistik .....                                                                                                 | 448        |
| 20.3 Systemlieferanten, Modullieferanten, Zulieferer .....                                                                     | 451        |
| 20.4 Automobilentstehung – extensive und intensive Verteilung der Aufgaben.....                                                | 453        |
| 21 Automacher sind auch nur Menschen: High Context versus Low Context Communication .....                                      | 457        |
| 21.1 Synergien von monochron und polychron denkenden Automachern ...                                                           | 457        |
| 21.2 Die Rollen und die Kompetenzen der Automobilentwickler .....                                                              | 462        |
| <b>Zusammenfassung der Thesen .....</b>                                                                                        | <b>469</b> |
| <b>Sachwortverzeichnis .....</b>                                                                                               | <b>485</b> |

## **Teil I**

# **Entwicklungsbedingungen für zukünftige Automobile**



## Das Automobil als Tabletokraten-Beweger

*Das Automobil der Zukunft wird ein individuelles Transportmittel mit Fahrgastzelle und mit drei bis vier Rädern sein, welches sich autonom, gar ferngesteuert, vollautomatisch, per App immer und überall abrufbar, mit einem bis vier oder mehr Smartphone- und Tablet-trägern irgendwohin bei Wind und Wetter bewegen soll.*

So wird das Zukunftsauto von Medien, Politikern, Alleswissern und von so vielen Menschen in deren Bahn definiert.

Ein solcher Tabletokraten-Beweger ist für die erwähnten Menschenkreise durch zwei Attribute per se gekennzeichnet: *elektrischer Antrieb* und *maximale Konnektivität*.

Ganz und gar ignoriert werden bei dieser euphorischen Betrachtung die Systeme für Lenkung, Stabilität, Festigkeit, Dämpfung von Schocks und Schwingungen, sowie die Systeme für die aktive und passive Sicherheit, für Heizung und Klimatisierung, für die Beleuchtung und für vielerlei Arten von Komfort, ob Musik, Gesäßmassage, Seelenmassage oder Beduftung. Jedes

dieser Systeme hat allerdings eine bestimmte Komplexität, dazu auch noch Gewicht und Volumen. All diese Systeme zusammen müssen andererseits in ein und dieselbe Karosserie hineinpassen, und diese soll so leicht, aber auch so widerstandsfähig wie möglich sein. Genug Platz für die Tablets und für ihre Träger ist eine selbstverständliche Forderung.

Die klassischen Autofahrer werden sich bei dieser Definition an den Kopf fassen! Ist diese Welt noch normal? Was bedeutet aber „normal“? Die aktuellen Entwicklungen auf der Welt haben ganz eigene Merkmale, die mit ihrem bis dahin mehr oder weniger stetigen Verlauf nicht mehr viel zu tun haben.

## 1.1    Die Menschen

Auf unserem Planeten leben derzeit (Februar 2021/ [live-counter.com](http://live-counter.com)) 7,8 Milliarden Menschen. Manche davon leben in luxuriösen Suiten, im hundertsten Stock eines Towers mit Blick über den Hudson River in New York, andere in Favelas in Rio de Janeiro, viele in Lehmhäusern in Ghana, andere in den Plattenbauten von Nowosibirsk. Als meine Großeltern jung waren, am Beginn des XX. Jahrhunderts, gab es erst 1,6 Milliarden Erdbewohner, also fast fünfmal weniger als heute. Und über eine Kinderexplosion in unserer Generation oder in jener unserer Eltern haben wir in dem Wirkungskreis in dem wir leben, ob in Europa oder Nordamerika, nichts mitbekommen. Mit der Zeit hat sich allerdings nicht nur die Anzahl der Menschen auf der Welt, sondern haben sich auch die Unterschiede in

ihrem Sozialstatus und, als Folge dessen, ihre territoriale Verteilung weitgehend geändert. Paläste und Lehmhäuser gab es gewiss auch früher. Geändert haben sich die Unterschiede zwischen Arm und Reich sowie die Flächenverteilung zwischen Wolkenkratzer-Centern und Favelas-Gebieten: Um den Kontakt mit der Entwicklung, mit der modernen Welt, nicht zu verpassen, was allerdings nur eine Illusion bleibt, nähern sich zunehmend, fast auf natürlicher Weise, immer mehr arme favelasartige Satelliten sehr reichen Zentren. Im Jahre 2018 lebten 4,2 Milliarden Menschen (55% der Weltbevölkerung) in derart bunt gebildeten Mega-Orten, die man großzügig als Städte bezeichnet. Für das Jahr 2050 wird eine Zunahme der Städteteilnehmer auf rund 68% erwartet, wobei auch die Weltbevölkerung, laut UNO Angaben, auf 9,7 Milliarden Menschen steigen wird [1].

**These 1: Die neue Verteilung des Lebensraums der Menschen und ihr geänderter, IT-kommunikationsbestimmter Lebensinhalt beeinflusst eindeutig auch ihre Mobilitätsbedürfnisse, wodurch ganz neue Anforderungen, sowohl an den öffentlichen Verkehr, als auch an die Eigenschaften von Automobilen entstehen.**

## 1.2 Die Automobile

Auf die 7,8 Milliarden Menschen kommen derzeit 1,35 Milliarden Automobile – das würde ein Auto für etwa 6 Menschen ergeben, wenn sie gleichmäßig verteilt wären. Das ist offensichtlich nicht der Fall. Die Unterschiede zwischen den Autotypen selbst sind genauso groß wie zwischen Tower-Suites, Favelas und Lehmhäusern: Luxusstrotzende Rolls-Royces, muskelprotzende Bugattis, schlammbesiegender Ladas, alleschleppende Dacias.

Der Sog von Satelliten-Siedlungen durch die ohnehin dicht besiedelten Mega-Metropolen führt gewiss zu einer Verkürzung von Fahrdistanzen zwischen Arbeits-, Einkaufs- und Wohnorten. Andererseits nimmt dadurch die Zähigkeit des Verkehrs zu. Die Verkehrsströmungen werden infolgedessen langsam, in dem Verkehrsfluss entstehen dazu plötzliche Verdichtungen und Blasenbildungen. Scharfes „Stop“, gefolgt von steilem „Go“ verlangt nach kompakten Autos, mit geringer Trägheitsmasse, aber mit hohem Drehmoment vom Start, wie es die Elektromotoren bieten.

Die Stadtautos unserer Zeit werden aber keineswegs kompakt, sondern immer aufgeblasener: Absolute Verkaufsschlager weltweit wurden in den letzten Jahren die Geländewagen für die Stadt, mit dem allgemeinen Kosenamen SUV (Sport Utility Vehicle). Ihr Marktanteil übertrifft 30%, die meisten davon haben nie Schlamm oder Wald, sondern nur überfüllte Asphaltstraßen und zu enge Parkplätze unter den Rädern gehabt. Für die Bewegung mit 30 bis 50 km/h durch die Stadt, zwischen den zahlreichen Stop-and-Go Phasen, sind Antriebsleistungen im Bereich von 40 bis 100

PS (rund 30 bis 75 Kilowatt), je nach Fahrzeuggewicht, absolut ausreichend, mit genug Reserve für Überholvorgänge. Mit einem Elektroantrieb könnte die Leistung noch geringer sein, weil für den nötigen Antrieb beim Start und während der Beschleunigungsvorgänge das Drehmoment und nicht die Leistung verantwortlich ist. Und dieses Drehmoment erreicht bei allen Elektromotoren seinen maximalen Wert von der ersten Umdrehung an, und bleibt so hoch, bis die stadtgerechten 50 Stundenkilometer erreicht sind und auch weit darüber hinaus. Selbst bis 100-130 km/h ist nur eine einzige Getriebe-Übersetzungsstufe erforderlich.

Das wollen aber derzeit weder die Autokäufer noch die Hersteller so richtig: Die modernsten Limousinen-Verbrenner, ob Benziner oder Diesel, peilen die 800 bis 1000 PS an für Autos, die fast niemals außerhalb einer Stadt gefahren werden. Man könnte meinen, die Elektroautos, als Zukunft der Menschheit, werden die richtige Entwicklungsrichtung bezüglich Leistung und Drehmoment zeigen. Wer meint das? Der Musterknabe unter den Elektroautos, Tesla S, zeigt stolze 999 PS, Porsche Taycan 761 PS, Lotus Evija gar 2000 PS. Große Leistung braucht aber auch große Batterie, die man wie einen Betonklotz mitschleppen muss. Solche Autos werden dementsprechend über zwei Tonnen schwer, Tonnen, die man auf der Straße auch beschleunigen muss. Das wird zum Teufelskreis: Große Leistung benötigt große Batterie, schwere Batterie benötigt noch mehr Leistung.

## 1.3 Die Kommunikation

Auf unserem Planeten mit fast 8 Milliarden Menschen und mit mehr als 1 Milliarde Automobilen gibt es derzeit 2,9 Milliarden Smartphones! Und ab diesem Punkt ändert sich abrupt die Perspektive der Betrachtung: So große Unterschiede wie zwischen Suiten und Lehmhäusern oder zwischen Rolls-Royce und Dacia gibt es bei den Smartphones nicht. Und selbst wenn, ob Handys aus Billigplaste oder vergoldete Smartphones, fast alle haben das gleiche Betriebssystem (80% weltweit Android), die gleichen Apps und die gleiche Logik.

Darüber hinaus besitzen die Menschen auf der Erde rund 1,2 Milliarden Tablets (Stand Februar 2021). Auch in diesem Fall ist das Betriebssystem nahezu überall gleich (Microsoft Windows zu 80%).

Und noch zur geänderten Perspektive der Betrachtung: In Brasilien, in Indien oder in Marokko gehen sowohl junge als auch erwachsene Menschen mit Smartphones und Tablets genauso geschickt und intelligent um, wie in den USA, in Korea oder in Deutschland. Das wurde in Schulen, in Universitäten, in Unternehmen und im täglichen Leben nachgewiesen. Die Tablets und die Smartphones sind die neueste Form der Sozialisierung, darauf können sehr, sehr viele Menschen nicht verzichten. Tablet oder Smartphone, eins davon oder auch beide zugleich sind immer in den Händen eines Sozio-manen, beim Sprechen, beim Lesen, beim Rauchen, beim Essen, beim Schlafen oder auf dem Klo. Warum sollten sie dann gerade im Auto fehlen?

Die Sozialisierung war von den Urzeiten bis gegen Ende des XIX. Jahrhunderts eine face-to-face Angelegenheit: Gespräche bei Lagerfeuer zwischen Homo erectus-Vertretern vor 1,7 Millionen Jahren, Geschichtenerzählen auf der Holzbank vor einem Haus in einem transsilvanischen Dorf in Draculas Zeiten, um 1460, Damen-Plaudereien in Dreier-Gruppen im Hückel-Hutladen um 1893 in Chicago, Austausch politischer und wirtschaftlicher Tiraden in Gentlemen's Clubs in London, zum Ende des XIX. Jahrhunderts. Eine andere Ebene, mit genauso alten geschichtlichen Wurzeln wie das Sozialisieren durch Schwätzen, ist die face-to-face Zusammenkunft von Räten, Verwaltungen, Leitungsgremien, Gewerkschaftern, Projektarbeitern oder Bankräubern. Die Steigerungsformen der Sozialisierung entwickelten sich in Kneipen, auf Jahrmärkten und Dorffesten, in Discos, Night-Clubs und in Après-Ski Hütten.

Und plötzlich entdeckten die Menschen, dass die Kommunikation sich ganz anders als nur face-to-face, am gleichen Ort, zur gleichen Zeit entwickeln kann!

Der Mensch entdeckte in sich selbst ein ungeahntes Potential: Er strebt nach Informationen in Echtzeit, von jedem Ort der Welt, auch wenn er nicht selbst dort anwesend sein kann. Der Mensch will nie örtlich und zeitlich etwas verpassen!

Dafür halfen ihm einige epochale Erfindungen:

Das Telefon: Der deutsche Philip Reis präsentierte 1861 in Frankfurt sein „Telephon“. Das Patent dazu beantragte aber der US-Amerikaner Graham Bell in

den USA, 1876. Man konnte also über Distanzen miteinander sprechen, auch ohne sich zu sehen. Das wurde weltweit wie warme Semmeln angenommen.

Das Radio: Die technischen Grundlagen ließ Nikola Tesla in den USA patentieren, zur gleichen Zeit wie Bell das Telefon. Einige Jahre später erschienen als weitere Radio-Erfinder Popov (1895) und Marconi (1896). Man konnte also in Echtzeit ein Ohr an die Welt legen, auch ohne mit ihr selbst sprechen zu können – zunächst.

Der Fernseher: Der deutsche Paul Nipkow reichte das Funktionsprinzip des Fernsehers im Jahre 1886 beim Kaiserlichen Patentamt in Berlin ein. Man konnte dadurch nicht nur ein Ohr anlegen, sondern auch ein Auge auf die Welt werfen, zunächst auch ohne ihr etwas sagen oder zeigen zu können, was sich jeder der passiven Teilnehmer so gewünscht hätte.

Der Computer: Der Deutsche Konrad Zuse setzte im Jahre 1941, mit dem *universell programmierbaren Computer* die Basis der modernen Fern-Kommunikation, mit der man die Welt nicht nur hören und sehen, sondern ihr auch in Bild und Ton antworten kann.

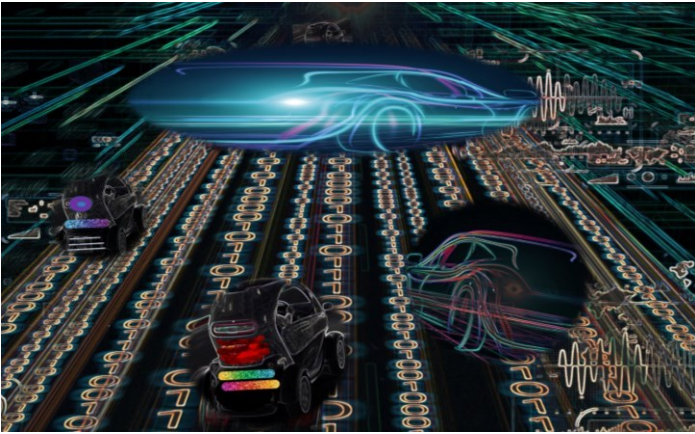
*Und all diese Geräte, Telefon, Radio, Fernseher und Computer kombiniert man neuerdings in winzigen Smartphones und Tablets!*

**These 2: Der Mensch strebt stets nach Informationen in Echtzeit, von Menschen, über Menschen, über Geschehnisse, von jedem Ort der Welt, auch wenn er nicht dort anwesend sein kann. Dieses Streben verlässt ihn in keiner Situation, also auch nicht während einer Fortbewegung.**

## 1.4 Das autonome Fahren

Der Drang zum ständigen Echtzeit-Kontakt mit der Umwelt lässt die Bewegung eines Menschen zwischen zwei Punkten nur noch als verlorene Zeit erscheinen. Damit kommt ihm sein eigenes Eingreifen in den Verlauf einer Automobilbewegung als eher lästig vor. Und gerade das, selbst die Gewalt über die Bewegung eines Fahrzeugs zu haben, gab bis jetzt Jung und Alt den absoluten Adrenalinstoß! Passé. Das traumhafte Cabrio soll, bitte, über die Alpenpässe selber die Serpentine meistern, jeder der beiden Insassen, die irgendwie ein Paar zu sein scheinen, haben mit den eigenen Handys doch voll zu tun (wie es dann beim Abendessen und in dem Schlafzimmer des angepeilten Alpenhotels weiter geht, das ist der Phantasie des Lesers überlassen).

Auf jeden Fall verlangt eine solche Wahrnehmung der Welt nach einem autonom fahrenden Vehikel (Bild 1.1).



*Bild 1.1 Automobile für Tabletokraten: elektrisch, digital, autonom*

Diese Autonomie ist allerdings komplexer als zunächst angenommen: Sie besteht nicht nur aus mechanischem Bewegen, sie hat vielmehr sicherheits- und kommunikationstechnische, soziale und juristische Aspekte. Die Entwicklung zum vollständig autonomen Fahren musste deswegen auf mehrere Stufen gesetzt werden.

Die Experten planten dafür fünf Autonomie-Stufen.

Die erste Stufe: Das Fahren wird „assistiert“. Der Fahrer bleibt Herr über Beschleunigen, Bremsen und Lenken und hat den Verkehr stets im Blick. Er haftet für Verstöße und Schäden. Er hat aber einige Hilfen beim Fahren:

*Tempomat* zur Einhaltung einer von ihm gewählten Geschwindigkeit.

*Automatische Abstandsregelung* (Adaptive Cruise Control), zum automatischen Beschleunigen, Tempohalten und Bremsen, je nach Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs,

*Automatischer Spurhalteassistent* (Lane Keeping Assistant System).

Die zweite Stufe besteht in einer „Teilautomatisierung“ des Fahrens.

Der Fahrer bleibt Herr über Beschleunigen, Bremsen und Lenken und hat den Verkehr stets in Blick. Er haftet für Verstöße und Schäden. Das Fahrzeug kann aber, unter klar präzisierten Bedingungen, das Fahrzeug in der Spur halten, bremsen und beschleunigen. Hinzu kommen folgende Funktionen:

*Überholassistent und automatisches Einparken:* Der Fahrer muss in diesem Fall nicht mehr selbst das Lenkrad greifen. Solche Systeme gibt es bereits bei Mercedes (DISTRONIC+) und bei Tesla. Der Fahrer muss jedoch die Assistenzfunktionen stets überwachen und bei Bedarf korrigieren. Für Unfälle bleibt der Fahrer verantwortlich, auch wenn keine Fehlfunktion gemeldet wurde.

Die dritte Stufe: „Hochautomatisiertes Fahren“. Der Fahrer darf sich dabei von Zeit zu Zeit vom Fahren und von der Verkehrsüberwachung abwenden. Der Hersteller definiert klare Anwendungssituationen, in denen das Fahrzeug selbstständig fahren darf. Das System überwacht dabei seine Funktionsgrenzen und signalisiert dem Fahrer, wenn diese Grenzen erreicht sind. Der Fahrer haftet, wenn er den Systemanforderungen nicht nachkommt.

Diese dritte Stufe ist besonders für Autobahnfahrten geplant: Dabei gibt es keinen Gegenverkehr, die Fahrbahnmarkierungen sind meistens in Ordnung und die Bahnen sind vollständig in digitalen Karten erfasst.

In dieser Stufe darf der Fahrer endlich mal zu seinem Tablet oder zum Smartphone greifen, oder zu beiden gleichzeitig. Bei Stau auf der Autobahn macht das Auto, unter einer Geschwindigkeitsgrenze von 60 km/h, alles von alleine. Wenn jedoch ein Signal vom System kommt, muss der Fahrer schleunigst alles aus den Händen fallen lassen und zum Lenkrad greifen.

Die vierte Stufe: „Vollautomatisiertes Fahren“. Der Fahrer wandelt sich auf der Autobahn oder im Parkhaus zum Passagier. Er darf während der Aktion des Fahrzeugs mit Smartphone oder Tablet, oder mit beiden, oder mit sonst wem spielen, Schlafen ist auch erlaubt. Er haftet nicht einmal für Verkehrsverstöße oder Schäden.

Das System erkennt seine Grenzen selbst und kehrt bei Bedarf zu einem sicheren Zustand zurück.

Ein schönes Gefühl: Das Auto kann von selbst auf die Autobahn auffahren, sich in den Verkehr einordnen, sogar bei hoher Geschwindigkeit. Es kann von selbst blinken, beschleunigen, bremsen, überholen.

Und wenn der Fahrer meint, dass ihm das Auto doch zu autonom wird, so kann er jederzeit das Steuer selbst übernehmen. Es sei denn, er erinnert sich während der Fahrt, doch ein Glas zu viel getrunken zu haben. In dieser Situation steuert das autonome Gefährt einen Parkplatz an.