



# I. INNOVATIONSKONGRESS ULM|NEU-ULM 2019

DIE INTELLIGENTE  
MOBILITÄT VON MORGEN



**TECHNISCHE  
HOCHSCHULE ULM**  
Prittwitzstr. 10 | 89075 Ulm

[www.innosued.de/  
innokongress](http://www.innosued.de/innokongress)



## Impressum

ISBN 978-3-9820843-0-5

## Herausgeberin

Prof. Dr. Marianne von Schwerin  
Technische Hochschule Ulm  
Prittwitzstr. 10, 89075 Ulm  
marianne.vonschwerin@thu.de

## Redaktion

Dr. Thomas Aigle  
Steffen Jannik Maier

## Layout/Gestaltung

Stacheder und Sander, Ulm

# Tagungsband

zum Ersten Innovationskongress Ulm | Neu-Ulm

am 9. Mai 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>Intelligente Mobilität in China – ein Beispiel für Deutschland?</b> Prof. Dr. Ulrike Reisach, Prof. Dr. Martin Stirzel Hochschule Neu-Ulm	<b>5</b>
<b>E-Mobilität mit Brennstoffzellen - Erlebnisse mit einer Basis-Innovation</b> Prof. Dr. Werner Tillmetz, Universität Ulm	<b>20</b>
<b>Neue Mobilität in der Zukunftsstadt Ulm</b> Jennifer Pichl, Michael Schlick, Katharina Wagner, Technische Hochschule Ulm	<b>28</b>
<b>Digitale Kamera-Monitor-Systeme und zukünftige Innovationen im Connected Car Szenario</b> Prof. Dr. Anestis Terzis, Technische Hochschule Ulm	<b>36</b>
<b>Autonome e-Kleinbusse – Entwicklungsstand und Zulassung</b> Prof. Manfred Plechaty, Hochschule Neu-Ulm	<b>43</b>
<b>Kupfer für die Mobilität von Morgen</b> Dr.- Ing. Tony Noll, Wieland AG	<b>50</b>
<b>Vor(her)sehen im Straßenverkehr - Untersuchung antizipatorischer Prozesse in dynamischen Verkehrssituationen</b> Kristin Mühl, Prof. Dr. Martin Baumann, Universität Ulm	<b>54</b>
<b>Transfer neu gedacht: Regionale Innovationspotentiale nutzen</b> Dr. Thomas Aigle; Dr. Julia Kipper-Albertini, InnoSÜD; Prof. Dr. Marianne von Schwerin, Technische Hochschule Ulm	<b>61</b>
<b>Systematische Innovation mit TRIZ – eine kurze Einführung in Widersprüche und Separationsprinzipien</b> Prof. Dr. Christian Iniotakis, Technische Hochschule Ulm	<b>69</b>

# Intelligente Mobilität in China – ein Beispiel für Deutschland?

Prof. Dr. Ulrike Reisach, Prof. Dr. Martin Stirzel Hochschule Neu-Ulm

## Abstract

China realisiert intelligente Mobilität so schnell und umfassend wie kaum ein anderes Land. Es kooperiert mit internationalen Partnern beim Thema Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren. E-Mobilität wird von der Regierung gefördert und ist eines der Kernelemente zur Verbesserung der Luftqualität. In Verkehrssteuerungszentren werden die Verkehrsmittel intermodal vernetzt und mit Daten zu Wetter, Ferien und Tageszeiten kombiniert, so dass die Verkehrsflüsse optimiert und Routenhinweise für die Verkehrsteilnehmer gegeben werden können. Dieser Beitrag vergleicht die Ziele und Rahmenbedingungen, stellt vor, worin sich chinesische und deutsche Mobilitätsansätze unterscheiden, und diskutiert, von welchen chinesischen Ansätzen wir möglicherweise lernen können und wollen. Damit nähern wir uns einer Beantwortung der Frage, wie Deutschland sich angesichts der ganz anderen Herangehensweise Chinas positionieren und eigene Stärken herausarbeiten und nutzen kann, um auch zukünftig ganz "vorne" mit dabei zu sein.

## Einleitung, Erkenntnisinteresse und Methodik

Der Vergleich von China und Deutschland zeigt, dass sich Mobilität und Verkehrswirtschaft in vielerlei Hinsicht unterschiedlich entwickeln. Während europäische Länder auf einem hohen Reifegrad der technologischen Entwicklung aufsetzen, zugleich aber in der Umsetzung einen demokratischen, konsensbasierten Ansatz wählen, verfolgt China eine langfristig orientierte Planung (von Senger 2008, S. 115 ff.) und staatliche Industriepolitik. Spätestens seit dem Eintritt in die Welthandelsorganisation im Jahr 2001 steht China direkt im Wettbewerb mit den westlichen Industriestaaten. Die Unternehmen wurden aufgefordert, ihre Flügel zu spreizen und ins Auslandsauszuschwärmen (Backaler 2015) und chinesische Manager und Studenten folgen dem Ruf. Staatliche, kommunale, private und hybride Unternehmen folgen den programmatischen Vorgaben der Regierung (Hanemann und Huotari 2015) und nutzen den faktisch geschlossenen chinesischen Kapitalmarkt, staatliche Subventionen und Universitäten, um Schlüsseltechnologien (weiter) zu entwickeln. Wichtige Voraussetzungen sind dabei öffentliche Infrastrukturprojekte und „public-private partnerships“. Aber auch China muss sich aktuell Herausforderungen stellen: Der Wachstumsschub infolge rascher Industrialisierung, basierend auf niedrigen Kosten, Technologietransfer (Yu und Dowling 2018), strikter Ein-Kind-Politik und hoher Liquidität, läuft aus und das Wachstum wird nur schwer auf dem Niveau der letzten Jahre fortzusetzen sein (Zhang und Chen 2017).

Das Erkenntnisinteresse unserer Forschung liegt darin, Unterschiede und deren Ursachen zu identifizieren und die Übertragbarkeit von Best Practices zu beurteilen.

Dabei stützt sich die vorliegende Analyse auf

1. einen mobilitätsbezogenen System-Vergleich von Deutschland und China
2. die Beobachtungen der Fact-Finding Mission in China im November 2018 und
3. strategische Planungsmethoden, welche interne und externe Faktoren gegenüberstellen.

## Grundlagen: Begriff und Verständnis intelligenter Mobilität

In diesem Beitrag wird zunächst der Begriff „intelligente Mobilität“ eingegrenzt. Unter Mobilität versteht man die Möglichkeit von Personen, sich zu bewegen bzw. räumlich zu verändern (vgl. zu Definitionen Schopf 2001, S. 4f). Dazu werden – nicht zwingend, aber häufig – von den Menschen geschaffene Instrumente für den Verkehr eingesetzt, sogenannte Verkehrsträger. In englischsprachigen Definitionen wird die Verkehrsinfrastruktur in der Regel nicht separiert und der Mobilität zugeordnet.

Werden von Nutzern situativ oder aufgrund Präferenzen verschiedene Verkehrsträger genutzt, spricht man von einem multimodalen Verhalten (Cziszar 2013, S. 125ff.).

Werden für die Überwindung *einer* Strecke mehrere Verkehrsträger eingesetzt, spricht man von intermodalem Transport (Crainic et al. 2007, S. 467ff.)

Mobilität wird mit Adjektiven wie „smart“ oder „intelligent“ näher beschrieben. Diese implizieren mindestens eine nach außen intelligent erscheinende Wirkung, ggf. aber auch technologische Merkmale innerhalb des Systems, welche das System wirklich intelligent machen (z.B. Selbstkoordination und -optimierung, bspw. auf Basis künstlicher Intelligenz). Grundlage ist die informationsseitige Durchdringung der Realität, mit Hilfe von Sensorik und Konnektivität.

*Intelligente* Mobilität beschreibt einerseits eine spezielle Form der Mobilität, andererseits umfasst sie weitere Elemente wie z.B. Bestandteile von Infrastruktur-Kommunikation und Plattformen. Es ist davon auszugehen, dass die heute (in einigen urbanen Umfeldern) schon beobachtbare Form solcher Mobilität sich weiter ausdehnt und zu einer Art Standardform wird. Die Megaballungsräume und -Städte nehmen hier eine Vorreiterrolle ein, da Sie aufgrund der Wachstumsraten (Zuzug) und dem verschärften sozialen und ökologischen Druck sämtliche Ansätze zur Verbesserung des Lebens aufgreifen müssen. Die erzielbaren Effekte sind besonders in urbanen Umfeldern hoch und ermöglichen einen höheren Impact mit zugleich besserem Wirkungsgrad der Investitionen (Infrastruktur, Kartographie, ...) als in zersiedelten ländlichen Gebieten.

Mit Blick auf urbane Erscheinungsformen tritt der Begriff auch häufig im Zusammenhang mit *Smart Cities* auf. Darunter sind auch über die Mobilität hinausgehende Konzepte zu verstehen, die ebenso mit naher Echtzeit operieren, bspw. mit Bezug zu Umweltdaten wie Luftverschmutzung, Sicherheit von Bauten, Sachen und Personen (bei Erdbeben, Hochwasser oder sonstigen Katastrophen), Gebäudemanagement mit optimierter Nutzung, und auch die Versorgungsinfrastruktur (hauptsächlich für Wasser, Elektrizität und Wärme). In diesem Beitrag soll der Schwerpunkt jedoch auf der Mobilität liegen, wenn auch andere Gebiete wie Smart Cities Schnittstellen zur Mobilität besitzen.

Eine Ausprägung sowohl des Individual- als auch des Massenverkehrs ist das autonome Fahren. Eine wichtige Grundlage hierfür ist die Vernetzung der Fahrzeuge. Heute wird diese realisiert durch eine im Fahrzeugsteuergerät integrierte Mobilfunk-SIM-Karte, welche vom Hersteller kostenfrei oder über zusätzliche Leistungsangebote für den Individualkunden angeboten wird (Johanning und Mildner 2015, S. 2).

Die verbaute Hardware wird aber im Hinblick auf „Car 2 Car“ und „Car 2 Infrastructure“ noch wenig genutzt (Johanning und Mildner 2015, S. 15f.). Es ist zu erwarten, dass Cloud-Lösungen im Backend mit entsprechenden Zugriffsprofilen basierend auf den Eigentumsverhältnissen der Informationen für die verschiedenen Stakeholder kommen werden (Johanning und Mildner 2015,

S. 20). Wie später noch ausgeführt wird, sind der Wunsch der Nutzer nach Informationsschutz und die damit verbundenen Gesetzgebungen eher hemmend. Demgegenüber steht das Gewinnstreben der Unternehmen, welche ein Milliardenpotenzial sehen (McKinsey & Company, 2015).

Tatsächlich wird die intelligente Mobilität faktisch durch die Smartphones der Nutzer mit Daten gespeist (bspw. Bewegungsdaten der Smartphones für Stauermittlung, ein eher zufälliger Nutzen aus der Verbreitung der Smartphones). Es stellt sich nunmehr die Frage, in welcher Form und durch welche Träger eine koordinierte Informationsverarbeitung stattfinden kann. Derzeit findet eine Auseinandersetzung darüber statt, wer die Koordinationsrolle in der vernetzten Mobilität übernimmt.

## Vergleich der Ausgangsparameter und deren Wirkung

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen förderlichen und beschränkenden Faktoren in Deutschland und China erläutert und anschließend als Grafik in Anlehnung an das Akronym PESTEL (Political, Economical, Social, Technological, Ecological und Legal, vgl. Pillkahn 2007) geclustert, wobei die Grafik die Überlappungen visualisiert.

### 1. Deutschland

Vermutlich wird das derzeitige Selbstverständnis der Automobil-OEM als Einzelgänger-Integrator irgendwann überholt sein, da eine herstellerübergreifende Plattform funktionieren kann. McKinsey betont in einer Studie, dass die Automobilhersteller ihre Geschäftstätigkeiten in Richtung der zuvor aufgeführten Veränderungen in Angeboten und Funktionen ausweiten und unter Umständen sogar verlagern müssen (McKinsey & Company 2015). Zudem werden die für die Kommunikation der Fahrzeuge erforderlichen Schnittstellen einige einheitliche Standards notwendig machen, welche marken- und regionenübergreifend ausfallen müssen. Es wäre laut McKinsey somit von Vorteil, ein Ökosystem zu schaffen, in dem eine große Anzahl an OEMs eine Plattform gemeinsam nutzen. Dies ist gemäß Studie erfolgreicher als Alleingänge von einzelnen Unternehmen. Hierbei könnten Kooperationen zwischen OEMs und anderen Marktteilnehmern stattfinden, indem sie dieselbe (Software-) Plattform nutzen. Dies hätte gleichzeitig den Vorteil, dass die kritische Größe erreicht werden würde und Fähigkeiten erlangt werden könnten, die Grundvoraussetzung für die neuen Funktionen und Angebote sind. Zugleich würde ein Kontrollverlust der Datenflüsse vermieden. Die OEMs hätten somit auch den Vorteil, dass die gesetzten Standards einen Datenaustausch und das Teilen jeweiliger Daten ermöglichen und darauf aufbauend Funktionen entwickelt werden könnten, welche in den Augen der Kunden als Differenzierungsmerkmale der Hersteller dienen könnten. Die Automobilhersteller könnten dadurch beispielsweise intelligente Navigationssysteme mit einer dynamischen Routenplanung entwickeln, die anhand von Echtzeitinformationen zu Straßen-, Wetter- und Verkehrsbedingungen agieren. Im Hintergrund könnte eine gemeinsame Datenbank sowie einheitliche Kommunikationsprotokolle stehen, die es möglich machen diese Informationen in den Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller zu erfassen (McKinsey & Company 2015, S. 27-30). Besagte Studie befasst sich hauptsächlich mit dem automobilen Ökosystem.

Die darüber liegende Ebene eines universellen Mobilitäts-Ökosystems über alle Verkehrsmittel hinweg erschien bis vor Kurzem umso mehr als Utopie. Sehr wahrscheinlich bilden sich in Deutschland und anderen Staaten, bei denen privatwirtschaftliche Unternehmen führend sind, Integratoren, die Angebote / Services sammeln, aber nicht hierarchisch die Verkehrsmittel

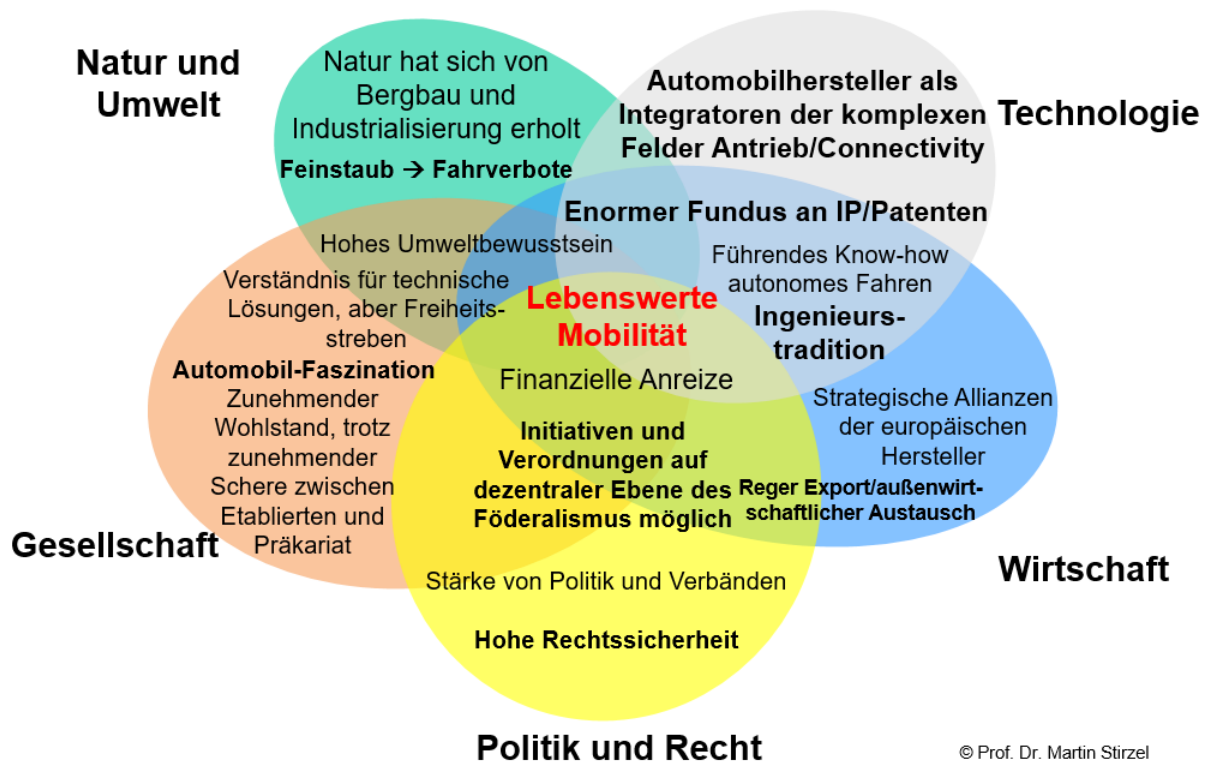
koordinieren. Katalysatoren könnten die im Vormarsch befindliche Sharing Economy und Entwicklung von Mobility Services sein.

Deutschland hat nach dem zweiten Weltkrieg ein System der sozialen Marktwirtschaft entwickelt, das als Ordoliberalismus bekannt wurde (Eucken 2004). Dabei wird die Funktionsfähigkeit des Marktes durch die Kontrolle von Monopolen und Kartellen sowie durch andere marktkonforme Maßnahmen gesichert. Auch für eine technologische Ordnungsstruktur ist das Land der Ingenieure bekannt. Jedoch sind die Menschen durch Immanuel Kant und die Philosophie der Aufklärung gewohnt, frei und selbstbestimmt zu denken und handeln, was für Kreativität und Innovationen ein Vorteil ist (Reisach 2018c), aber auch bedeutet, dass die Nutzung und Diffusion von Innovationen von den Akteuren abhängt (Stirzel 2007).

Eine vielstimmige, tlw. aus der Übersättigung gelähmte Meinungsbildung sowie ein auf zwei Stufen zu koordinierendes Subsidiaritätsprinzip (Föderalismus und EU) erschweren Entscheidungen. Darüber hinaus werden innovative Ansätze aus Gründen der Risikovermeidung perfektioniert, bevor eine Pilotierung oder gar großflächige Implementierung erfolgt. Die Adaption von Technologien erfolgt langsamer. So zeigt sich, dass die Bereitschaft, für vernetzte Dienste Geld auszugeben, in China (mit 60%) nahezu doppelt so hoch wie in Deutschland (mit 32%) ist lt. einer McKinsey-Studie (McKinsey & Company 2015, S. 18-21). Die Politik hat zwar erkannt, dass Veränderungsprozesse angestoßen werden müssen, an manchen Stellen fehlt es an Pragmatismus. Hinzu kommen rechtliche Hürden, die Gesellschaft und Individuum schützen sollen, bspw. Datenschutz als hohes Gut. Sicherlich lassen sich ausbremsende Faktoren nicht generell ausschalten, ein Blick auf die Entwicklung in China, um von einzelnen Ansätzen zu lernen, könnte jedoch förderlich sein.

Demgegenüber stehen die Einflussfaktoren in Deutschland (siehe folgende Abbildung).

### Deutschland: Stärken → Chancen für Mobility



© Prof. Dr. Martin Stirzel

Abbildung 1: Externe Einflussfaktoren auf Mobilität (Opportunities) für Deutschland



## 2. China

Die chinesischen Planer haben mit Sicherheit das oben erläuterte Verkehrs-Ökosystem von McKinsey studiert. Jedoch sind die Ziele, Voraussetzungen und Lösungen nicht die gleichen. China folgt seit Beginn des Reformkurses der Devise „Vom Westen lernen, Chinese bleiben“ (Grobe 1992). Trotz oder aufgrund der sozialistischen Ausrichtung ist die Politik recht pragmatisch (vgl. Reisach et al. 2007, S. 197-215). Sie folgt damit teils dem sozialistischen Materialismus, der die Wahrheit in den Tatsachen sucht, teils aber auch der konfuzianischen Lehre, wonach Bildung und gesellschaftliche Harmonie erstrebenswert sind (Weber-Schäfer 1983, S. 218). Auf Basis dieser Grundlagen ist die Volksrepublik China seit der Öffnung des Landes 1978 sehr erfolgreich und das einstige Entwicklungsland China stieg zur größten Wirtschaftsmacht nach den USA auf (WEF 2018).

Mit einer Landfläche von 27 Mal der Bundesrepublik Deutschland und Städten mit bis zu 30 Millionen Einwohnern steht die Volksrepublik China vor ganz anderen Herausforderungen als Deutschland. Man könnte China und seine 23 Provinzen und 5 autonomen Gebieten (VffL 2014, S. 38) eher mit Europa vergleichen, doch auch dieser Vergleich hinkt angesichts einer Einwohnerzahl von insgesamt 1,4 Milliarden Menschen in China, das sind fast dreimal so viele wie in der EU. Die Regierungsführung war zu Kaiserzeiten (Balazs 1968, S. 304ff.) und zu Zeiten der Planwirtschaft stark zentralistisch organisiert, im Zuge der Öffnungspolitik von Deng Xiaoping wurden seit 1988 jedoch immer mehr Entscheidungsbefugnisse an die Provinzen und Kommunen delegiert. Zugleich wurden die Staatsunternehmen (teil-) privatisiert und die Wirtschaft als „Sozialistische Marktwirtschaft“ modernisiert und wettbewerbsorientiert ausgerichtet (Reisach et al. 2007, S. 197ff.) – mit großem Erfolg: Durch die Kombination von Sozialismus und Marktwirtschaft, einer dialektischen Synthese von Gegensätzen, avancierte China zur größten Wirtschaftsmacht nach den USA, zum zweitgrößten Absatzmarkt der EU (European Commission/Eurostat 2018).

Die **politischen Leitlinien** für alle Bereiche wurden und werden vom Zentralkomitee (ZK) der Kommunistischen Partei Chinas (KPCh) in Beijing vorgegeben. Nach dem Amtsantritt Xi Jinpings im Jahr 2013 zeigt sich China als weltoffen, propagiert den freien Welthandel (Xi 2017), und entwickelt mit der neuen Seidenstraße (Belt and Road Initiative, BRI) zu Lande und zu Wasser eine hohe internationale und zugleich geostrategische Dynamik, die von Zentralasien bis Europa und von Südostasien bis Afrika reicht (Eder/MERICs 2019). Parallel dazu erfolgt eine verstärkte Orientierung am Gründer der Volksrepublik China, Mao Zedong, und eine industriepolitisch motivierte Innovationsförderung. Die Programme *Made in China 2015* (Wübbeke et al. 2016) und *Created in China* zeigen, dass China verstärkt eigene Innovationen entwickelt und international vermarktet. China ist inzwischen der größte Anmelder von Patenten weltweit (WIPO 2018).

**Verkehrspolitisch** sind die Ziele pragmatisch und an den Herausforderungen des Wachstums von Bevölkerung und Umweltverschmutzung orientiert. Ziel ist es, den Verkehr so zu steuern, dass Wirtschaft und Gesellschaft prosperieren können. Dabei sind Kollektivismus und Harmonie kulturell tief verankert (Nisbett 2009 sowie Talhelm et al. 2014). Die Menschen sollen sich an Vorgaben und Regeln halten, und der Staat wacht über die Einhaltung. Verhaltensregeln bspw. für den Verkehr und die Nutzung öffentlicher Anlagen werden per Lautsprecher, Bild und Video verbreitet, denn sowohl nach sozialistischem als auch traditionellem chinesischem Verständnis sind die Menschen erziehbar. Hintergrund ist u.a. die Ordnungslehre des chinesischen Gelehrten Konfuzius (6. Jahrhundert n. Chr.), der zufolge es (nach einer Zeit des Aufruhrs) Aufgabe des Menschen ist, die Gesellschaft zurück in die Ordnung und natürliche Harmonie zu führen (Pye 1985).

Die Ordnung der Natur wird als Parallele zur Ordnung der Gesellschaft gesehen, die hierarchisch gegliedert ist und auf der Führung einer bestens ausgebildeten Beamtenelite beruht. So sollen Chaos vermieden und die Bürger durch die Herrschenden gut geleitet werden.

Individualismus und Freiheit klingen Mao zufolge eher nach „individualistischer Undiszipliniertheit“ (Mao: I, S. 123). Ein wenig chaotisch wirkte der Verkehr in den rasant wachsenden Städten bis vor wenigen Jahren tatsächlich (eigene Erfahrung UR). Nun sorgen Wachpersonal und Kameras mit Nummernschild- und Gesichtserkennung per künstlicher Intelligenz und teilweise auch die in Erprobung befindlichen Sozialkreditsysteme (Chorzempa et al. 2018) dafür, dass Geschwindigkeitsbeschränkungen, Fahrspuren, Verkehrsschilder und Ampelzeichen weitgehend eingehalten werden. Verkehrssicherheit und Stauvermeidung sind bei Städten von 30 Millionen Einwohnern durchaus eine Herausforderung. Die nachstehende Tabelle zeigt die in diese Studie einbezogenen Städte und deren Bewohnerzahlen. Offiziell werden nur die amtlich registrierten Personen gezählt (Hukou System), real leben aber deutlich mehr Menschen, z.B. nicht dort registrierte Wanderarbeiter in den Städten. Eine so genannte „mittlere Stadt“ wie Hangzhou hat immer noch rund 10 Millionen Einwohner.

Stadt	Bevölkerung Offiziell, mit Hukou	Bevölkerung Real	Dichte: p/km <sup>2</sup>
Beijing	25.0 Millionen	ca. 30 Millionen	6,000
Shanghai	23,0 Millionen	ca. 30 Millionen	3,600 – 5,282
Shenzhen	12.5 Millionen	ca. 14 Millionen (18 Mio bis 2030)	3,600
Hangzhou	9.5 Millionen	ca. 12 Millionen	530

(eigene Darstellung auf Basis von Citypopulation.de, Versus.com, Worldscapitals.com und GTAI)

In der **Stadtplanung** geht China sehr pragmatisch vor: Ausgehend vom Zentrum, in Beijing also z.B. vom alten Kaiserpalast (heutiges Palastmuseum und Sitz der KPCh) aus, werden Ringstraßen und Metrolinien in konzentrischen Ovalen errichtet (Liu 2007). Die dadurch entstehende Spinnennetz-Struktur (vgl. Shanghai Metro) erlaubt eine größere Flexibilität in der Routenplanung für Autos und Bahnkunden: Falls eine Strecke durch Staus oder Ausfälle blockiert ist, können die Verkehrsteilnehmer relativ unproblematisch auf eine andere Verzweigung umsteigen. Zugleich wird der Zugang zu den Ringstraßen durch eine City-Maut, deren Preis bei der Nutzung von E-Cars sinkt, reguliert. Zur Erfassung der PKWs sind Kameras an den großen Kreuzungen und Erkennungssoftware in den Wagen installiert. Dem Wachstum von Bevölkerung und Wirtschaft folgend werden neue Stadtviertel in der Größenordnung von mehreren Hunderttausend Bewohnern am Reißbrett konzipiert und meist auch im Schachbrettmuster angelegt. Straßen, Metrolinien und -stationen sowie neuerdings auch Ladestationen für E-Mobilität werden ebenso eingeplant wie Schulen, Universitäten, Einkaufszentren und Parkanlagen. Da Landflächen, Häuser und Fabriken grundsätzlich sozialistisches Gemeineigentum sind und nur im Rahmen einer Pacht 30-70 Jahre genutzt werden können (Clarke 2017), bekommen die vormaligen Besitzer und Bewohner Entschädigungen in Form von neuen Gewerbeflächen oder Wohnungen. Da also faktisch weder individuelles Privateigentum noch ein effektiver Rechtsschutz desselben besteht (Clarke 2017), gelingt es in China viel schneller als in Deutschland, neue Stadtteile zu errichten und diese verkehrstechnisch gut auszustatten. So können eine effiziente Logistik für Flughäfen, Bahnhöfe

und Metros erreicht und die große Menge der Menschen sicher transportiert werden. Dennoch zeigt die Erfahrung vor Ort, dass z.B. in Beijing lange Wege in engen Tunneln zurückzulegen sind, um Anschlusslinien zu erreichen. In Hangzhou und Shanghai sind Treppen hinderlich für Reisende mit Gehbehinderung oder mit schwerem Gepäck. Es gibt also auch in China noch Optimierungspotenzial. Die Infrastruktur hält offensichtlich nicht mit dem Wachstum Schritt. Es gibt immer noch Staus, Engpässe und Luftverschmutzung, allerdings sind die schlimmsten Jahre dank Gasheizungen und Fabrikverlagerung sowie E-Mobilität vorbei.

Die **Verkehrsträger in China** sind, da es kaum Zulassungsbeschränkungen gibt, noch vielfältiger als in Deutschland. So findet man E-Scooter, E-Fahrräder, E-Roller und viele andere Varianten auf den Straßen, insbesondere um die letzten Kilometer zum Ziel zu erreichen. Hangzhou z.B. betreibt in großen Stile Car-Sharing und fördert die Mobilität per (E-)Rädern und Scootern (HNU Team Hangzhou). Im Jahr 2018 wurden mehr als 60 chinesische Marken für E-Fahrzeuge gezählt. Insgesamt wurden lt. dem chinesischen Autoherstellerverband im Jahr 2017 mehr als 777.000 batteriebetriebene Fahrzeuge und Plug-in-Hybride in China verkauft (CAAM 2018). Die E-Mobilität wird vom Staat gefördert. Hangzhou, die Heimat von Geely, einem der bekanntesten Elektrofahrzeug-Hersteller, setzt auf E-Mobilität, als auch Shenzhen, das als Konzeptstadt Vorzeigecharakter besitzt und schon bis 2020 mindestens 35% E-PKWs auf den Straßen haben will. Nummernschilder werden in Lotterien erworben. Der Staat gibt jedes Jahr 100.000 Stück in Shenzhen aus, davon sind 20.000 „grüne“, also E-Car-Nummernschilder (Manz et al. 2017). Ähnliche Anreizsysteme finden sich auch in anderen chinesischen Großstädten. Teilweise werden diese Begünstigungen wieder revidiert, weil sich ein Trend zum Zweitauto erkennen lässt. Auch Busse und Taxis erhalten Subventionen für den Umstieg auf E-Antrieb. Gefördert wird die E-Mobilität auch durch **Mobility Services**: So können Taxen, Leihautos oder Fahrräder Tankstellen und Ladestationen sowie Parkplätze (z.B. in Parkhäusern) einfach bestellt/gefunden und bezahlt werden. Dabei haben regionen-übergreifende Apps wie die des chinesischen Internet-Giganten Alibaba, den die Verfasser mit der HNU-Gruppe in Hangzhou besucht haben, den Vorteil, dass die Nutzer einer App sich in allen Städten einfach mobil bewegen können.

Entscheidend für **E-Personenkraftwagen** und **E-Busse** sind Batteriequalität und Energieversorgung. Mit 45 im Betrieb und 15 im Bau befindlichen Kernkraftwerken sowie weiteren, die in Vorbereitung sind, ist China schon heute ist das Land mit der größten nuklearen Kapazität (WNA 2019). Die Verfügbarkeit von Energie und staatlich gesetzte günstige Preise sind ein realer „Energieschub“ für die E-Mobilität des Landes. China baut im Zuge der „Made in China 2015-Initiative“ landesweit zahlreiche Batteriehersteller auf (Holzmann 2018). Grundsätzlich dürfen bislang nur chinesische Batterien verwendet werden (Hua 2018). BYD („Build your Dream“) und CATL („Contemporary Amperex Technology Co“) sind die führenden Batteriehersteller. BYD baut eigene E-Fahrzeuge in seiner riesigen Fertigung in Shenzhen und ist dort mit Abstand die meistgefahrte Marke (Zählung HNU-Team Shenzhen 2018), sowohl privat als auch bei Taxen. Aber auch der E-Mobilhersteller Nio (chinesisch Weilei, übersetzt „Blue sky coming“) überrascht durch sportliches Design, interaktive Sprachsteuerung und Unterhaltungssoftware sowie eine Neu-Interpretation der Beziehung zum Kunden: Es geht nicht allein um das Auto, sondern um die Mitgliedschaft in einer Art Club, der den Ladevorgang zum Erlebnis macht und seine Mitglieder über soziale Medien verknüpft. Nio unterhält Showrooms auf mehreren Kontinenten, kooperiert mit Stanford in Sachen Spracherkennung und gilt als der „chinesische Tesla“ (mit ähnlichen Problemen bei den Absatzzahlen).

**E-Busse** sollen dazu beitragen, den Smog in den Städten zu reduzieren. Pionier ist das ehemalige Fischerdorf Shenzhen im Süden Chinas, das sich binnen 30 Jahren zum Silicon Valley Chinas entwickelt hat. Innerhalb weniger Jahre wurden mehr als 16.000 Elektrobusse in Betrieb genommen. Pro Tag finden in dieser Stadt 5,7 Millionen Busfahrten statt. Die HNU-Gruppe besuchte einen der Buslinienanbieter, die Shenzhen Eastern Bus Group, an einer ihrer 60 Busstationen mit Ladegeräten. Jede dieser Stationen kann von 400 E-Bussen angefahren werden, so dass mehr als 20.000 E-Busse geladen werden können.

Das Team besuchte in Shenzhen außerdem Potevio, einen in Staatsbesitz befindlichen Hersteller von Informations- und Kommunikationstechnologie, mit 10 Filialen und 20 Service-Standorten. Potevio liefert einen Teil der Ladestationen und Services für die 20.000 Busse und PKWs. Dazu zählen eine App für Kunden zum Finden und Buchen freier Ladesäulen. Pro Ladesäule und Tag sind maximal 1-2 Bus-Aufladungen für eine Reichweite von 250 km – 300 km möglich. Die Ladesäulen müssen laut Potevio nur ca. alle acht Jahre überholt werden und können über ein firmeneigenes Kontrollzentrum überwacht werden. Digitale Nutzungsauswertungen erlauben eine Steuerung und logistische Optimierung der Ladesäulen. Die Stromversorgung wird in Kooperation mit dem lokalen Energieerzeuger und den städtischen Behörden sichergestellt.

Die **Metro** ist das Rückgrat des städtischen Verkehrs. Der erste Metro-Tunnel wurde in Shanghai im Jahr 1965 gebaut. Die Metro-Linie 1 wurde 1993 in Betrieb genommen und 20 Jahre später hatte Shanghai mit 15 Metro Linien, 331 Stationen und 567 km das größte Streckennetz der Welt (SUPC 2018). Die Shanghaier Metro ist die zweit-meistgenutzte Metro weltweit. Zugang und Abrechnung erfolgen durch elektronische Fahrkarten oder die kostenlose Metro-App, die auch Linieninformationen und ein Bezahlssystem beinhaltet. Das Metrosystem ist einfach zu nutzen, da man nur das Fahrtziel eingeben muss. Bei Nutzung der Metro-App erkennt das System selbst, wie weit der Fahrgast fährt und zieht die entsprechende Summe vom Guthaben ab bzw. nutzt das Bezahlssystem zur Verrechnung mit dem Monats- oder Jahrespass. Die Taktung ist mit 2-7 Minuten komfortabel, die Züge halten pünktlich an exakt gekennzeichneten Stellen, bei denen sich dann die Glaswände am Bahnsteigrand öffnen. Innerhalb des Zuges befindet sich über den Türen eine Streckenkarte in chinesischer und englischer Schrift. Fahrtrichtung und die nächste Haltestation sind klar gekennzeichnet. Dabei unterscheiden sich die Städte nicht viel in der Ausgestaltung, so dass es auch Besuchern relativ einfach gelingt, per Metro zu fahren (Erfahrung HNU-Team). Die Klarheit der Kennzeichnung und die Nutzerfreundlichkeit der Streckenangaben in den Waggons und bei der Abrechnung per App wären durchaus auch in Deutschland wünschenswert. Gewöhnungsbedürftig aber nachvollziehbar sind die Sicherheitskontrollen (Gepäckscan) sowie Sicherheitspersonal am Eingang und auf den Bahnsteigen.

**Moderne Schnellzüge** von mehr als 300 km/h verbinden die Ballungszentren besonders der östlichen Küstenregionen Chinas. Sie sind ähnlich organisiert wie in Deutschland Flughäfen: Bei der Buchung bedarf es eines Passes, und die Fahrgäste müssen mindestens eine halbe Stunde vorher da sein. Die Wartehallen sind riesig und durch eine Eingangs- und Gepäck-Kontrolle nur für Fahrgäste zugänglich. Die Fahrgäste gehen vom Wartebereich im Erdgeschoss über Rolltreppen zum jeweils gebuchten der mehr als 30 auf Chinesisch und Englisch angezeigten Bahnsteige. Auf den sehr sauber gehaltenen Bahnsteigen sind die jeweiligen Waggon-Nummern und Einstiegsstellen am Boden gekennzeichnet. Die Fahrgäste steigen nur an jeder zweiten Türe zu, die aussteigenden Personen nutzen die anderen Türen. So wird der Ein- und Aussteige-Prozess zeitlich optimiert. Die Schnellzüge fahren extrem pünktlich und sind in den für westliche Besucher durchaus

erschwinglichen ersten zwei Klassen sehr modern und bequem ausgestattet. Gruppenbuchungen waren leider von Deutschland aus nicht möglich, diese sollten besser von chinesischen Agenturen vor Ort erledigt werden, um eine zeitraubende persönliche Passvorlage der ganzen Gruppe zu vermeiden (Erfahrung HNU-Team). Weniger schnelle regionale und ältere Zuglinien sowie die günstigste Klasse entsprechen nicht dem geschilderten Niveau.

Die **digitale Vernetzung verkehrsbezogener Daten** ist bisher vor allem in den boomenden Ostküstenstädten Chinas realisiert, in denen auch die Internet-Nutzung sehr hoch ist. So sind in Beijing z.B. mehr als 77 Prozent, in Shanghai und Shenzhen mehr als 74 Prozent der Bevölkerung aktive Internetnutzer (CNNIC 2018). Dies erleichtert die individuelle Mobilität, da Straßen-, Metro und Bahn-Streckennetze sowie Fahrzeiten digital sichtbar sind und bequem gebucht und bezahlt werden können. Außerdem, und dies ist der wesentliche Unterschied zu Deutschland, erlaubt der staatliche Zugriff auf die Daten der privaten Internetanbieter wie z.B. Alibaba, Baidu und Tencent (vgl. Reisach 2018b) die Nutzung mobiler Daten für die städtische Verkehrssteuerung. So analysiert ein Team von Informatikern, Statistikern und Data Scientists (Reisach, Gespräche vor Ort und mit GIZ) im Shenzhen Urban Traffic Planning Center (SUTPC) statistische Auswertungen zum Verkehrsaufkommen auf der Basis von Baidu, Bus, Taxi und Park-Apps (Nedophil 2017). Zugleich wird das Verkehrsaufkommen durch Kameras und Sensoren erfasst, um so z.B. Verkehrsunfälle, Ordnungswidrigkeiten, Staus und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erkennen. Für die Darstellung von Wetter- und Verkehrsdaten wurden Smart Lampposts installiert (Nedophil 2017). Shenzhen ist damit die Vorzeigestadt nicht nur für E-Mobilität, sondern auch für eine zentrale Verkehrssteuerung.

Eine zentralisierte, digitalisierte Verkehrssteuerung scheint in den chinesischen Megastädten mit ihren 15-30 Millionen Einwohnern notwendig zu sein, um den Verkehrsfluss am Laufen zu halten. Dabei kommt in Teilbereichen wie bei der Erkennung von Nummernschildern und Gesichtern **Künstliche Intelligenz** zum Einsatz, ebenso innerhalb der Autos und in sozialen Medien wie WeChat bspw. in Form von Texterkennung in Sprachnachrichten. Ob und inwieweit darüber hinaus jetzt oder in einer (teil-) autonomen Verkehrs-Zukunft künstliche Intelligenz, z.B. „predictive analysis“, zur zentralen und automatisierten Verkehrssteuerung zum Einsatz kommt, blieb offen und ist als Gegenstand künftiger Forschungen spannend. Im Moment scheint es, als würden längst nicht alle verfügbaren Daten genutzt, was aufgrund der Datenfülle (mehr als 750 Millionen pro Tag) nicht überrascht. Die Erfahrung vor Ort zeigt, dass der Straßenverkehr zu Stoßzeiten stockend bleibt und Verzögerungen von mehr als einer Stunde möglich sind (HNU-Team). Die Bewohner der Stadt wissen das und empfehlen Metros als Verkehrsmittel (HNU-Team).

## China: Stärken → Chancen für Mobility



Abbildung 2: Externe Einflussfaktoren auf Mobilität (Opportunities) für China

### Fazit und Implikation für Deutschland

China verfügt über komparative Vorteile im Bereich E-Mobilität und Verkehrssteuerung:

- (1) Es braucht weniger Technologie zum Bau der Fahrzeuge und profitiert von der Kompetenz und internationalen Präsenz der chinesischen Batteriehersteller BYD und CATL.
- (2) Die Energieversorgung ist gesichert durch Kernenergie und ein Mix alternativer Energien.
- (3) Es nutzt sein Staatssystem der „sozialistischen Marktwirtschaft“
  - für einen innovationssteigernden Wettbewerb zwischen den Anbietern,
  - für die Bereitstellung von Fördermitteln und regulativen Anreizsystemen,
  - für ggf. staatlich initiierte horizontale Fusionen von Unternehmen, um deren internationale Wettbewerbsfähigkeit zu steigern (z.B. von China Northern und China Southern Railways im Jahr 2015),
  - zur Steuerung des Wachstums und des Infrastrukturausbaus der Megacities,
  - zur Verkehrsüberwachung und Disziplinierung,
  - zum Zugriff auf Nutzerdaten und (verkehrsbezogene) Informationsflüsse

... und kann so die Lade-Infrastruktur und die Verkehrsträger und Nutzerdaten intelligent verknüpfen. Es ist damit in der Lage, eine zentrale Verkehrssteuerung zu realisieren.

Die PESTEL-Analyse zeigt, dass es sich bei den aktuellen chinesischen Fortschritten in Sachen Mobilität primär um politische/systembezogene Vorteile handelt, die ökonomisch genutzt werden. Die deutschen Hersteller im Bereich Automotive reagieren darauf nicht allein mit ihrem bestehenden technologischen Know-how, sondern mit einer stärkeren Zusammenarbeit bzw. Vernetzung untereinander. Zugleich betrachten Deutschland und Europa die internationalen Ak-

tivitäten der Volksrepublik China stärker unter industriepolitischen Gesichtspunkten, analysieren Firmenakquisitionen kritischer und fordern einen fairen Marktzugang. Dieser wurde durch den Wegfall des Joint-Venture-Zwangs teilweise erleichtert.

Im Bereich Elektromobilität zeigt sich, dass in Deutschland insbesondere der öffentliche Personennahverkehr im Zuge der CO<sub>2</sub>-Reduzierung in Innenstädten von E-Bussen profitieren kann. Diese werden im Moment zu einem beträchtlichen Anteil aus China importiert, was Handlungsbedarf in Deutschland signalisiert. Ob und wie eine Vernetzung und Verkehrssteuerung in den wesentlich kleineren und historisch gewachsenen deutschen Städten wünschenswert ist, wird in der „Smart-City“-Forschung unterschiedlich bewertet.

Da die vielfältigen öffentlichen und privatwirtschaftlichen Akteure in Deutschland aufgrund

- des Subsidiaritätsprinzips und föderaler Strukturen sowie
- rechtlicher Vorgaben wie z.B. Privateigentum und Datenschutz

überwiegend eigene Lösungen für lokale Herausforderungen bearbeiten, scheint eine starke Orientierung am chinesischen Modell kaum wünschenswert bzw. realisierbar. In einigen praktischen Punkten aber können Kommunen, Verkehrsbetriebe und die Automobilindustrie durchaus von chinesischen Ansätzen lernen. So könnte z.B. eine Analyse der Geschäftsmodelle und ggf. auch Zusammenarbeit mit chinesischen Herstellern, z.B. von Ladesäulen und deren Stromversorgung und digitaler Vernetzung, durchaus vorteilhaft für beide Seiten sein. Da bei der Mobilität, wie im Abschnitt 2 angesprochen, Integratoren eine Rolle spielen, die eine Vielzahl von Infrastrukturelementen und Services integrieren, ist eine internationale Vernetzung ohnehin wahrscheinlich.

Zahlreiche deutsch-chinesischen Kooperationen in der Herstellung von Fahrzeugen und Komponenten sowie in innovativen Bereichen wie Fahrerassistenzsystemen und autonomem Fahren zeigen, dass deutsche Automobil- und Komponentenhersteller auf eine kooperative Zukunft im chinesischen Markt setzen. Modelle einer sensor-gesteuerten Verkehrssystemkooperation werden auch von Deutschland angeboten (z.B. von Siemens) und in Testprojekten erprobt, kommen aber voraussichtlich zunächst in asiatischen Städten zum Einsatz. Ob und inwieweit deutsche Firmen in Feldern wie „Car-Entertainment“ und Verkehrssteuerung mit China kooperieren wollen, ist eine strategische Frage, die von den deutschen Herstellern zu beantworten ist. Weitere industrie- und handelspolitische Initiativen sind Gegenstand der politischen Debatte in Deutschland und Europa, da China z.B. mit seiner Seidenstraßeninitiative starke Mobilitätsinteressen in den Bereichen Schienenverkehr, See- und Luftverkehr hat und diese mit hohen Investitionen fördert. China ist damit einer der stärksten und innovativsten Anbieter und Wettbewerber für weltweite Mobilitätslösungen und damit längst nicht mehr nur Markt, sondern Partner mindestens auf Augenhöhe.

## Literaturverzeichnis

Backaler, J. (2015), China goes West. Everything you need to know about Chinese companies going global. New York/ NY: Palmgrave Mc Millan.

Balazs, E. (1964), La bureaucratie céleste. Recherches sur l'économie et la société de la Chine traditionnelle (Présentation de Dimiéville, Paul), Paris 1964.

CAAM (2018), NEV enjoyed strong development, Chinese Association of Automobile Manufacturers, Peking Januar 2018. <http://www.caam.org.cn/AutomotivesStatistics/20180115/1305214916.html> [19.04.2019]

China.org.cn (2017), China sets population, construction limits in Beijing city planning. 28.09.2017, in: eBeijing, Beijing Information, News update. <http://www.ebeijing.gov.cn/BeijingInformation/Beijing-NewsUpdate/t1494492.htm> [19.04.2019]

China Internet Network Information Center (CNNIC 2018), Statistical Report in Internet Development in China, Beijing January 2018. <https://cnnic.com.cn/IDR/ReportDownloads/201807/P020180711391069195909.pdf> [20.9.2018]

Chorzempa, M., Triolo, P., Sacks, S. (Chorzempa et al. 2018), China's Social Credit System: A Mark of Progress or a Threat to Privacy?, in: Peterson Institute for International Economics (Hrsg.), *Policy Brief 18-14*. Washington D.C. <https://piie.com/publications/policy-briefs/chinas-social-credit-system-mark-progress-or-threat-privacy> [18.02.2019]

Clarke, D. (2017), Has China Restored Private Land Ownership? The Implications of Beijing's New Policy, in: Foreign Affairs, May 16, 2017

Cocchia, A. (2014), Smart and Digital City: A Systematic Literature Review. In: Dameri, R.P., Rosenthal-Sabroux, C. (Hrsg.), *Smart City, How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space*. Springer, Cham 2014, S. 13-43.

Crainic, T.G., Kim, K.H. (2007), Intermodal Transportation, in: C. Barnhart, G. Laporte (Hrsg.), *Transportation, Handbooks in Operations Research and Management Science*, Amsterdam 2007, S. 467-537.

Csiszar, C. (2013), Model of Multimodal Mobility Coordination and Guiding System, in: *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 3. Jg., 2013, Nr. 6, S. 125-132.

Deloitte (2018), Deloitte City Mobility Index: Shenzhen. [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4331\\_Deloitte-City-Mobility-Index/Shenzhen\\_GlobalCityMobility\\_WEB.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4331_Deloitte-City-Mobility-Index/Shenzhen_GlobalCityMobility_WEB.pdf) [31.20.2018]

Deuber, L., Kirchbeck, B. (2018), 16.000 Elektrobusse – Wie Shenzhen zur E-Metropole wurde, in: *Next Mobility News*, 20.08.2018. <https://www.nextmobility.news/16000-elektrobusse-wie-shenzhen-zur-e-metropole-wurde-a-743402/>

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH China (GIZ China, 2018), Megacity Shanghai auf dem Weg zur visionären Smart City. Shanghai 08.03.2018. <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=megacity-shanghai-auf-dem-weg-zur-visionaeren-smart-city,did=1881072.html> [31.07.2018]

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH China (GIZ China, 2016), *Mobilität schaffen. Verkehr gestalten. Strategisch denken. Statusanalyse für eine Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie in China, Beijing*.

Eder, T.S. (Eder/MERICs 2019), Belt and Road Tracker, in: Mercator Institute for China Studies, Berlin. <https://www.merics.org/en/bri-tracker> [20.04.2019]

Eucken, W. (2004), *Grundsätze der Wirtschaftspolitik*, 7. Auflage, Tübingen: Mohr Siebert.



European Commission (2018), Directorate General for Trade, Client and Supplier Countries of the EU28 in Merchandise Trade (value %) (2018, excluding intra-EU trade), basierend auf Eurostat (Comext, statistical regime 4) Last update: 15-Mar-2019. [http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2006/september/tradoc\\_122530.pdf](http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2006/september/tradoc_122530.pdf) [30.03.2019]

Germany Trade and Investment (GTAI 2018), Chinas Metropole Shenzhen baut 17 Millionen Wohnungen. <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=chinas-metropole-shenzhen-baut-17-millionen-wohnungen,did=1932240.html> [19.04.2019]

Grobe, Ka. (1982), Vom Westen lernen, Chinese bleiben – Kader und Kommunenbauern, Lamas und Studenten, Eichborn Verlag, Frankfurt am Main 1982.

Hanemann, T., Huotari, M. (2015), „Chinesische Direktinvestitionen in Deutschland und Europa. Eine neue Ära chinesischen Kapitals.“ *MERICs Studie zu China*, Juni 2015. Berlin: Mercator Institute for China Studies und der Rhodium Group. [https://www.merics.org/sites/default/files/2018-07/COFDI\\_2015\\_DE\\_web.pdf](https://www.merics.org/sites/default/files/2018-07/COFDI_2015_DE_web.pdf) [29.10.2018]

Hofstede, G., Hofstede, G. Jun. (2004), *Cultures and Organizations - Software of the Mind: Intercultural Cooperation and Its Importance for Survival*; 2nd ed., rev. and exp., New York/NY: McGraw-Hill Professional 2004

Holzmann, A. (2018), Chinas Battery Industry is powering up for global competition. In: MERICS Institute for China Studies, Berlin, 24.10.2018 <https://www.merics.org/en/blog/chinas-battery-industry-powering-global-competition> [20.04.2019]

House, R.J., Hanges, P. J. (2013), *Strategic Leadership Across Cultures: GLOBE Study of CEO Leadership Behavior and Effectiveness in 24 Countries*, London: Sage 2013.

Hua, S. (2018), Wie CATL zu Chinas größtem Batteriezellen-Hersteller wurde. In: Handelsblatt 04.07.2018

Johanning, V., Mildner, R. (2015), *Car IT kompakt Das Auto der Zukunft – Vernetzt und autonom fahren*. Marl/Bergisch Gladbach: Springer Vieweg 2015.

Liu, J. (2009), A Brief Introduction on Beijing & its Urban Planning, Tsinghua University/TU Delft, 13 July 2009. [http://www.ifou.org/summerschool/2009delft/lectures/07\\_ifou\\_summerschool\\_2009.pdf](http://www.ifou.org/summerschool/2009delft/lectures/07_ifou_summerschool_2009.pdf) [19.04.2019]

Manz, W., Elgendy, H., Bergern, J., Böhringer, J. (Manz et al. 2017), Urban Mobility in China, in: Institute for Mobility Research, A research facility of the BMW group, Munich, June 2017. [https://www.ifmo.de/files/publications\\_content/2017/ifmo\\_2017\\_Urban\\_Mobility\\_China\\_en.pdf](https://www.ifmo.de/files/publications_content/2017/ifmo_2017_Urban_Mobility_China_en.pdf) [19.04.2019]

McKinsey & Company (2015), Wettlauf um den vernetzten Kunden – Überblick zu den Chancen aus Fahrzeugvernetzung und Automatisierung. [http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mckinsey-connected-customer\\_deutsch.pdf](http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/mckinsey-connected-customer_deutsch.pdf) [20.04.2019]

Mao, T. (1968/69), *Ausgewählte Werke*, 4 Bände, Beijing 1968/69.

Metro Shanghai (2019), Welcome to Shanghai Metro <http://service.shmetro.com/en/> und Streckenplan <http://service.shmetro.com/en/yxxlt/index.htm> [20.04.2019]

Nedopil, C. (2018), Managing 750 million records of big data to optimize mobility in Shenzhen, in: Sustainable Transport.org. <http://www.sustainabletransport.org/archives/5830> [19.04.2019]

Nisbett, R.E. (2009), *The Geography of Thought: Why We Think the Way We Do*, Free Press, New York 2009.

Pillkahn, U. (2007), *Trends und Szenarien als Werkzeuge zur Strategieentwicklung. Der Weg in die unternehmerische Zukunft*. Publicis Publishing, Erlangen

Pye, L.W. (1985), *Asian Power and Politics: The cultural dimensions of authority*, Cambridge/Mass (USA): Harvard University Press 1985.

Reisach, U. (2018a), Chinas Masterplan Künstliche Intelligenz (AI: China's Masterplan), in: China Contact, The Foreign Trade Magazine, Hamburg Summit Special, 11/2018, S. 26-27, owc Verlag 2018.

Reisach, U. (2018b), Die Digitale Transformation Chinas – eine Herausforderung für Deutschland?, in: DLR/Deutsch-Chinesische Plattform Innovation: Policy Briefs 2018 der deutschen Expertengruppe. Dezember 2018, Bonn, S. 38-44. ISBN 978-3-942814-74-4. [https://www.plattform-innovation.de/files/PolicyBrief\\_2018\\_final-5.pdf](https://www.plattform-innovation.de/files/PolicyBrief_2018_final-5.pdf)

Reisach, U. (2018c), Kulturelle Einflussfaktoren auf Wissenschaft und Innovationen: Deutsch-chinesische Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Wahrnehmung und Bewältigung aktueller Herausforderungen, in: DLR/Deutsch-Chinesische Plattform Innovation: Policy Briefs 2018 der deutschen Expertengruppe. Februar 2018, Berlin, S. 12-17. ISBN 978-3-942814-72-0. [https://www.plattform-innovation.de/files/PB\\_2018%202.pdf](https://www.plattform-innovation.de/files/PB_2018%202.pdf)

Reisach, U. (2017b), Global Chinese Business Networks, in: Damm, J., Leutner, M., Niu, D. (Eds.), China's Interaction with the World: Historical and Contemporary Aspects, Berliner China-Hefte No. 49, Chinese History and Society, S. 54-71, Münster, ISSN 1860-2290.

Reisach, U., Tauber, T., Yuan, X. (2007), China – Wirtschaftspartner zwischen Wunsch und Wirklichkeit, 4. Aufl., Verlag Redline Wirtschaft, Heidelberg 2007.

Schopf, J.M. (2001), Mobilität & Verkehr – Begriffe im Wandel, in: Verkehr und Mobilität, S. 3-11, Wien 2001.

Shanghai Urban Planning Exhibition Center (SUPC 2018). <http://www.supec.org/> [20.04.2019]

Stirzel, M. (2007), Der industrielle Innovationsprozess, in: Wissenschaftsmanagement, 13. Jg., 2007, Nr. 5, S. 39-40.

Talhelm, T., Zhang, X, Oishi, S, Shimin, C. Duan, D., Lan, X., Kitayama, S. (Talhelm et al. 2014), Large-Scale Psychological Differences Within China Explained by Rice Versus Wheat Agriculture, in: Science, 09 May 2014, Vol. 344, Issue 6184, DOI: 10.1126/science.1246850, S. 603-608.

Verlag für fremdsprachige Literatur (VffL 2014), China, Beijing 2014.

Von Senger, H. (2008), Moulüe. Supraplanung: Unerkannte Denkdimensionen aus dem Reich der Mitte, Hanser Verlag, München 2008.

Weber-Schäfer, P. (1983), Die konfuzianischen Literaten und die Grundwerte des Konfuzianismus, in: Schluchter, W. (Hrsg.), Max Webers Studie über Konfuzianismus und Taoismus – Interpretation und Kritik, 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp 1983.

World Economic Forum (WEF 2018), The world's biggest economies in 2018. <https://www.weforum.org/agenda/2018/04/the-worlds-biggest-economies-in-2018/> [15.04.2019]

World Intellectual Property Organization (WIPO), WIPO IP Facts & Figures 2016, Geneva 2016. [http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_943\\_2016.pdf](http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_943_2016.pdf). [20.12.2017]

World Nuclear Association (WNA 2019), Nuclear Power in China. <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx> [20.04.2019]

Wuebbeke, J., Meissner, M., Zenglein, M. J., Ives, J., Conrad, B. (Wübbeke et al. 2016) Made in China 2025: The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries, Berlin, December 2016: MERICS.

Xi, Y. (2017), Speech to Davos WEF, in: World Economic Forum (Hrsg.), President Xi's speech to Davos in full. World Economic Forum Annual Meeting 2017, Davos, 17.01.2017. <https://www.weforum.org/agenda/2017/01/full-text-of-xi-jinping-keynote-at-the-world-economic-forum> [15.04.2019]

Yu, A. K., Dowling, M. (2018), Technologietransfer chinesischer Unternehmen durch Tochtergesellschaften in Industrieländern, in: DLR/Deutsche Plattform Innovationen (Hrsg.): *Policy Briefs* 2018.

Zhang, J., Chen, J. (2017), Introduction to China's new normal economy, in: *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, Vol. 15, No. 1, S. 1-4, London: Taylor and Francis 2017. DOI: [10.1080/14765284.2017.1289454](https://doi.org/10.1080/14765284.2017.1289454)

Darüber hinaus wurden eigene Beobachtungen der HNU Fact Finding Mission China vom November 2018 eingebaut und entsprechend gekennzeichnet (z.B. „HNU Team“ oder „HNU Team Shanghai“).

## Die Autoren

**Prof. Dr. oec. publ. Ulrike Reisach** lehrt an der Fakultät für Informationsmanagement der HNU. Mit 20 Jahren Industrie-Erfahrung (Director Strategy and Trends der Siemens AG) und 30-jähriger China-Expertise forscht sie zu den Unterschieden in der Wahrnehmung digitaler Innovationen.

**Prof. Dr. rer. pol. Martin Stirzel** lehrt an der Fakultät für Informationsmanagement der HNU. Nach langjähriger Tätigkeit in der Automobilbranche (Daimler-Konzern) lehrt und forscht er nun im Studiengang IMA.

# E-Mobilität mit Brennstoffzellen - Erlebnisse mit einer Basis-Innovation

Prof. Dr. Werner Tillmetz, Universität Ulm

## Abstract

700 km Reichweite, emissionsfrei und in weniger als drei Minuten vollgetankt, das ist die beeindruckende Limousine Nexo von Hyundai. Mit der zweiten Generation seiner kommerziellen Brennstoffzellenautos hat Hyundai die Basis-Innovation Brennstoffzellen-Antrieb endgültig auf den Weg gebracht. Korea und China haben inzwischen den Weg zur Großserienproduktion eingeschlagen und werden in den nächsten sechs Jahren jeweils 100.000 Fahrzeuge auf die Straße bringen – darunter viele LKWs und Stadtbusse. Brennstoffzellen sind der ideale Ersatz des Dieselmotors, dessen Ära zu Ende geht. Ganze 25 Jahre hat die abenteuerliche Reise der Brennstoffzelle bis zum breiten Markteintritt gedauert. Alles begann 1994 mit dem neCar 1 (new electric car) von Daimler. Diese mehr als 25-jährige Geschichte persönlich miterleben und mitgestalten zu dürfen, bietet die einmalige Chance, die unglaublich vielfältigen Treiber und Hemmnisse bei der Entwicklung einer Basis-Innovation durchleuchten zu können. Die Einführung des „Zero-Emission-Programmes“ in Kalifornien, technologische Fortschritte bei Ballard Power Systems, die „Dornier Unternehmenskultur“ und Edzard Reuters Vision vom integrierten Technologie-Konzern führten 1994 zu neCar 1. Mit neCar 2 und neBus wurde 1996 das Potential der Technologie eindrucksvoll sichtbar. Anfang der 2000er Jahre demonstrierten etwa 150 PKW und 40 Stadtbusse ihre Alltagstauglichkeit. Die Weltwirtschaftskrise 2003 in Verbindung mit einer Lockerung der Gesetzgebung in Kalifornien führte zu nachlassenden Aktivitäten in vielen Teilen der Welt, mit Ausnahme japanischer und koreanischer Fahrzeughersteller. Diese verfolgten eine langfristige Strategie, die letztlich 2013/14 zum Markteintritt erster Brennstoffzellenfahrzeuge geführt hat und in den Folgejahren konsequent fortgesetzt wurde. Hilfreich war dafür auch die weltweite Vereinbarung zur Reduzierung von Treibhausgasen COP 21 in Paris, die 2015 beschlossen wurde.

## Einleitung

Bis 2025 – in nur sechs Jahren – wird die jährliche Produktion von E-Fahrzeugen auf mindestens 20 Millionen Einheiten steigen. Die Investitionsentscheidungen dafür sind längst getroffen. Die Ära des Verbrennungsmotors hat ihren Zenit überschritten. Die nächste Generation E-Fahrzeuge mit Brennstoffzelle und Wasserstoff beweist ihre Praxistauglichkeit seit Jahren und hat ebenfalls den Weg in Richtung Großserienproduktion eingeschlagen. Brennstoffzellen-Antriebe spielen ihren Vorteil der hohen Reichweite und kurzen Betankungszeit, wie wir sie von klassischen Antrieben gewohnt sind, vor allem bei Reiselimousinen, Nutzfahrzeugen und Stadtbusen aus. Nach mehr als 25 Jahren Brennstoffzellen-Entwicklung beginnt ein neues Kapitel der Antriebstechnologie im Markt.

## Die Geschichte des Brennstoffzellen-Antriebes

### **Vom Weltall auf die Straße – Dornier, Ballard und Daimler**

Die Anwendung der Brennstoffzelle hat ihren Ursprung in der Raumfahrt. Die sehr hohe Energiedichte von Wasserstoff in Verbindung mit dem exzellenten Wirkungsgrad der Stromerzeugung über eine Brennstoffzelle machte erst die Bordstromversorgung für die Reise zum Mond (Apollo-Programm) möglich. Auch beim Spaceshuttle der NASA wurde der Bordstrom während der Mission über eine Brennstoffzelle erzeugt. In den 1980er Jahren plante die europäische Raumfahrtorganisation ESA ebenfalls den Einsatz von Brennstoffzellen für ihre Raumfahrtmissionen und hatte die Fa. Dornier in Friedrichshafen mit der Entwicklung beauftragt. Damit verbunden war 1987 mein Einstieg in die Welt der Brennstoffzelle.

Für den weiteren Fortgang der Geschichte waren zwei Punkte ausschlaggebend: Einerseits war es die auf den Gründer Claude Dornier zurückgehende Firmenkultur, immer wieder neue und technologisch sehr herausfordernde Themen anzugehen. Zum anderen hatte Edzard Reuter, damaliger Vorstandsvorsitzender des Daimler Konzerns, Ende der 1980er Jahre die Vision, den Daimler Konzern zu einem integrierten Technologie-Konzern weiter zu entwickeln und die Kompetenzen des Luft- und Raumfahrtunternehmens Dornier (neben MBB und AEG) für den Konzern zu nutzen.

Mein damaliger Chef, Günther Dietrich, überlegte, ob es auch für Straßenfahrzeuge Sinn machen würde, den Strom mit Hilfe einer Brennstoffzelle direkt an Bord zu erzeugen und damit den Elektromotor anzutreiben. Hintergrund für diese Überlegungen waren entscheidende technologische Fortschritte zu dieser Zeit: Dow Chemical hatte eine neue, sehr leistungsfähige Membran für die Chlor-Alkali-Elektrolyse entwickelt. Das kanadische Start-Up-Unternehmen Ballard Power Systems in Vancouver erzielte mit dieser protonenleitenden Membran in ihrer Brennstoffzelle sensationell gute Leistungsdaten. Gemeinsam hatten wir auf dieser technologischen Basis alle Aspekte der Machbarkeit eines Brennstoffzellen-Antriebes analysiert und kamen zum Schluss, dass so etwas sehr viel Sinn machen könnte. Nur, wer sollte so eine Entwicklung bezahlen? Im Jahr 1991 gelang es uns dann, den Daimler Vorstand für Technologie, Hartmuth Weule, von dieser Idee zu begeistern, die hervorragend zur Vision vom integrierten Technologie-Konzern passte. Damit war das Projekt Brennstoffzellen-Fahrzeug mit dem Namen neCar (für new electric car und in Anlehnung an den Fluss Neckar) geboren und ich wurde Projektleiter für die Brennstoffzelle. Die Vorgabe war, dass wir uns einen starken Partner suchen sollten, um in möglichst kurzer Zeit „Räder unter die Brennstoffzelle“ zu bekommen. Die Technologie sollte dadurch im Automobilkonzern sichtbar werden, auch um ihre Glaubwürdigkeit sicher zu stellen. Zu dieser Zeit wussten nur wenige Experten, was eine Brennstoffzelle ist. Und diese waren davon überzeugt, dass eine Brennstoffzelle im Auto überhaupt keinen Sinn macht. „Pigs will fly, before a fuel cell powers a vehicle“, manifestierte ein anerkannter Brennstoffzellen-Experte auf einer Fachkonferenz 1994 in den USA. Auch Batterieexperten der Daimler-Forschung hatten die Ballard-Brennstoffzelle unabhängig von den Dornier-Aktivitäten getestet und diese als nicht zukunftsfähig bewertet - das genaue Gegenteil unserer Analyse.

### **Vom Forschungsfahrzeug bis zur Flottenerprobung**

Die Suche nach einem starken Partner zeigte überraschend schnell Ergebnisse. So glaubte der renommierte Konzern United Technologies Corporation (UTC), der die Brennstoffzelle für den Spaceshuttle herstellte und eine Produktion für große stationäre Brennstoffzellen aufgebaut hatte, nicht an die Brennstoffzelle im Auto. Mit Ballard Power Systems aus Vancouver konnten wir schnell einen sehr agilen, visionären Partner gewinnen, dessen Unternehmenskultur hervorragend zu der von Dornier passte.

Dann ging alles sehr schnell. Es dauerte nur zwei Jahre, bis wir mit dem Fahrzeug neCar 1 den vereinbarten Meilenstein geschafft und „Räder unter die Brennstoffzelle“ gebaut hatten. Entscheidend war, dass wir mit der Demonstration des Fahrzeugs auch die nächste Technologie-Generation präsentieren konnten. Die Brennstoffzelle für das Nachfolgefahrzeug neCar 2 sollte um den Faktor 6 (!) kleiner werden. Wiederum zwei Jahre später (1996) präsentierten wir der Weltöffentlichkeit ein Fahrzeug, das sechs Personen Platz bot und die Brennstoffzelle „verschwand“ unter der Rücksitzbank. Im gleichen Jahr brachten wir auch noch einen Stadtbus mit einer 250 kW Brennstoffzelle zu Demonstrationszwecken auf die Straße. Der Bus wurde ein Jahr lang weltweit unter allen Klima- und Umweltbedingungen eingesetzt. Beeindruckend war, dass die Brennstoffzelle danach noch genau die gleiche Leistung wie am Tag 1 der Inbetriebnahme zeigte.



1994

1994

1996

Abbildung 1: „Räder unter die Brennstoffzelle“ mit neCar 1 (links) und das technologische Potential aufzeigen (G.Dietrich, W.Tillmetz, G.Hornburg, W.Fleck) mit dem Brennstoffzellen-Modell für neCar 2 in 1994 (mitte) und zwei Jahre später neCar 2 während der Pressekonferenz in Berlin (rechts) (alle Fotos: © Daimler)

Die Pressekonferenz zur Präsentation von neCar 2 mit den Daimler Vorständen Werner und Weule 1996 in Berlin löste einen weltweiten Hype zur Entwicklung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen aus. Auch bei Daimler führte dieses Fahrzeug zu einer langen, intensiven Strategiediskussion. Gegen den erbitterten Widerstand der Vertreter aller anderen Antriebstechnologien beschloss der Daimler-Vorstand 1997, die Brennstoffzellen-Aktivitäten aus der Forschung heraus in die Mercedes Benz - Produktentwicklung zu transferieren und eine Serienentwicklung vorzubereiten. In diesem Zusammenhang wurde die Zusammenarbeit mit Ballard intensiviert: Daimler beteiligte sich an dem inzwischen börsennotierten Unternehmen, und die Verantwortung für die Zelltechnologie (Brennstoffzellen-Stack) ging an Ballard über. Für die Systemintegration der Brennstoffzelle wurde ein von Daimler geführtes Joint Venture gegründet. Kurz darauf stieg Ford in die Aktivitäten ein. Neben Vancouver und Kirchheim/Teck entstanden weitere Standorte in San Diego und Dearborn. Die Zahl der Mitarbeiter wuchs in rasender Geschwindigkeit von etwa 100 im Jahr 1996 auf 1.500 in 2002.

Auch wenn die beiden ersten Fahrzeuge mit Wasserstoff betrieben wurden, war der von uns zu dieser Zeit favorisierte Kraftstoff Methanol. Es ist ein flüssiger Kraftstoff, leicht aus Erdgas herzustellen und relativ einfach wieder in Wasserstoff zu spalten. Statt Erdgas an den Erdöl-Bohrlochern abzufackeln, war die Überlegung, es in den Kraftstoff Methanol umzuwandeln, wie Benzin an die Tankstellen zu befördern und in flüssiger Form in einem herkömmlichen Tank zu speichern. Bei der Entwicklung der dafür benötigten Methanol-Reformer für das Auto war das gleiche Phänomen zu verzeichnen wie bei der Brennstoffzelle. Alle Experten bezweifelten, dass es möglich sei, einen extrem kompakten und hochdynamischen Reformer zu entwickeln. Das Demonstrations-Fahrzeug neCar 5 war schließlich der eindrucksvolle Beweis, dass das doch möglich

ist. Die Durchquerung der Vereinigten Staaten im Sommer 2002 mit mehr als 5000 km Fahrstrecke war die Sternstunde dieser Entwicklung.

Den Aufbau der Methanol-Infrastruktur sollten die Mineralölkonzerne vorantreiben. Diese zeigten sich vordergründig kooperativ und beteiligten sich viele Jahre an Diskussionen und Analysen. In Wahrheit wollten sie aber keine Konkurrenz zu ihrem etablierten und florierenden Geschäft mit Benzin und Diesel und verhielten sich in der Umsetzung passiv. Das Methanol Institut in den USA dagegen war ein großer Unterstützer der Daimler Methanol-Strategie. Leider nutzte die konkurrierende Ethanol-Lobby die „Gunst der Stunde“ und prangerte das „giftige“ Methanol in öffentlichen Kampagnen an. Die konkurrierende Automobilindustrie sprang auf diese Argumentation auf und nutzte sie, um Daimler in seiner erfolgreichen Entwicklung auszubremsen, was auch gelang. Nach einem kurzen, schnell gescheiterten Versuch, mit Benzin-Reformierung zu arbeiten, konzentrierten sich dann ab 2000 weltweit alle Automobilhersteller auf Wasserstoff. So wurde die Methanol-Entwicklung bei Daimler eingestellt und ab 2003 nur noch auf Basis von Wasserstoff weiterentwickelt. Alle seitdem in Betrieb gegangenen Flottenfahrzeuge wurden mit Wasserstoff als Kraftstoff betrieben. Etwa 150 PKW und 40 Stadtbusse wurden bis 2005 entwickelt, gebaut und waren über viele Jahre im Alltagseinsatz. Die Zuverlässigkeit der Fahrzeuge übertraf alle Erwartungen und die Kunden waren begeistert.



Abbildung 2: Emissionsfreier Nahverkehr: neBus, der erste Daimler Brennstoffzellen-Bus wird 1996 fertiggestellt (linkes Bild) und Flottenerprobung in neun europäischen Städten im Hyfleet:CUTE (in Hamburg sind bis zu neun Busse im Betrieb) (alle Fotos: © Daimler)

Heute, 25 Jahre später, hat sich die Welt weiterentwickelt. Mit dem anstehenden Übergang in eine dekarbonisierte Energiewelt wird Wasserstoff, über Wasserelektrolyse mit zeitweise überschüssigem Windstrom erzeugt, zum idealen Kraftstoff der Zukunft. Für flüssige Kraftstoffe wie Methanol und andere synthetische Kraftstoffe fehlt dann die „C“-Quelle.

Aber warum ging es damals, trotz der anfänglichen Erfolge mit der Markteinführung der Brennstoffzellenfahrzeuge nicht zügig weiter?

### **Dornröschenschlaf, der E-Mobilitätshype & TESLA**

Mit Beginn des neCar Projektes hatten sich Daimler und BMW über viele Jahre in den Medien gestritten, ob nun Brennstoffzelle oder Verbrennungsmotor mit Wasserstoff die bessere Lösung sei. Und das Umweltbundesamt (UBA) positionierte sich in der Öffentlichkeit sehr stark gegen Brennstoffzellen-Antriebe. Der eigentliche Gegner des UBA war aber die Automobilindustrie und der Individualverkehr mit dem Auto. Dies alles führte zu einer deutlichen Verunsicherung der Öffentlichkeit in Bezug auf die Brennstoffzelle im Auto.

Im Jahr 2001 erschütterte der Terroranschlag von New York (9/11) die Welt und die Weltwirtschaft geriet Anfang 2003 in eine tiefe Krise. Zu dieser Zeit platzte auch die sogenannte Dotcom-Blase. Der Börsenwert von Ballard fiel von fast 10 Milliarden \$ auf unter 0,5 Milliarden \$. Die etablierten Industrien wie auch die Start-Up Unternehmen mussten in der Folge einen massiven

Sparkurs einschlagen. Die Euphorie zu Zukunftsthemen wie Brennstoffzellen-Fahrzeuge hatte ein jähes Ende gefunden.

Im Jahr 2003 entschärfte das California Air Resources Board (CARB) nach jahrelangem, massivem Druck der Automobilindustrie die Zero Emission Vehicle (ZEV) Regularien. Damit war, zumindest vorübergehend, der Treiber für die Innovation verlorengegangen.

Nach dem Ende der turbulenten Zeit war Gelegenheit, das Erlebte zu reflektieren. Dabei wurde schnell bewusst, welche entscheidende Rolle die Politik und damit die Gesetzgebung für den Markterfolg von emissionsfreien Fahrzeugen spielt. Etablierte Technologien sind naturgemäß immer kostengünstiger und weniger riskant als neue Technologien, die sich erst den Weg in die Serienproduktion und den Markt mit sehr viel Geld bereiten müssen. Die damit verbundenen Risiken müssen abgedeckt werden und die Politik muss stabile und innovationsfördernde Rahmenbedingungen schaffen und mit der Wirtschaft den Weg in die Zukunft gestalten.

Brennstoffzellenantriebe wurden bis vor 20 Jahren in der Politik (D + EU) wenig wahrgenommen und Förderprogramme, die eine Markteinführung vorbereiteten, waren nicht vorhanden. Eine Analyse im Jahr 2005 ergab, dass sich allein in Deutschland etwa 25 Organisationen mit der Brennstoffzelle beschäftigten und unabhängig voneinander mit der Politik redeten. Schnell gelang es, diese Akteure unter dem Dach des „Brennstoffzellen Bündnis Deutschland“ zu vereinen, ein gemeinsames Strategiepapier zu verabschieden und ein Strategierat aus Vertretern der Politik, Wirtschaft und Forschung zu etablieren. Nach nur zwei Jahren konnte eine bundeseigene Programmgesellschaft NOW (Nationale Organisation Wasserstoff Brennstoffzelle) gegründet werden. Mit dem auf 10 Jahre angelegten und mit 700 Millionen Euro an Fördermitteln ausgestatteten „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff Brennstoffzelle“ war es erstmals möglich, marktvorbereitende Aktivitäten mit allen relevanten Akteuren zu etablieren (Beispiel ist die CEP - Clean Energy Partnership). Die Gründung des Joint Ventures H2-Mobility zum Aufbau einer H2-Tankstellen-Infrastruktur war ebenfalls eines der großen Verdienste der NOW. Etwa zeitgleich gelang es die europäischen Förder-Aktivitäten zu stärken um dann 2014 das „Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking“ (FCH JU) zu gründen. Ein Ergebnis der umfangreichen Förderprogramme war die Entwicklung einer Hochleistungs-Brennstoffzelle mit herausragenden Eigenschaften, wie einer Leistungsdichte von 3600 W/l.

### **Brennstoffzellen-Antriebe auf dem Weg in den Markt: Japan, Korea und China marschieren voraus**

TESLA mit vielen neuen Technologien und die zunehmend stärker werdende Klimapolitik (COP 21 Vereinbarung von Paris, 2015) waren der Treiber für einen weltweit schnell wachsenden Markt an E-Fahrzeugen. Ende 2018 waren bereits 5,6 Millionen Elektrofahrzeuge auf den Straßen der Welt. 2025 werden es mehr als 50 Millionen sein – Tendenz weiter schnell steigend. Während die Batteriefahrzeuge über Jahre die Schlagzeilen beherrschten, haben Hyundai und Toyota ihre Brennstoffzellen-Aktivitäten auf Basis ihrer Langfriststrategie konsequent weitergeführt. 2013 kamen der ix35 von Hyundai und 2014 der Mirai von Toyota als erste voll kommerzielle Fahrzeuge auf den Markt. Immer mehr Akteure verstehen, dass die Brennstoffzelle für größere Fahrzeuge (Reise-Limousinen, Busse, LKW) deutliche Vorteile im Vergleich zur Batterie hat. 2018 verkaufte Hyundai 1000 Brennstoffzellen LKW an die schweizer H2-Energy AG. Anfang 2019 verkündeten sowohl die koreanische wie auch die chinesische Regierung, mit Brennstoffzellen in den Massenmarkt einzusteigen und bis 2025 jeweils 100.000 Fahrzeuge auf die Straße zu bringen. Die deutsche Automobilindustrie ist trotz deutlich erhöhtem Engagement dabei, auch hier wieder seine Möglichkeiten zu verspielen.



## **Basis-Innovation Brennstoffzelle – was lehrt uns die Geschichte?**

Inkrementelle Innovationen sind eine markante Stärke des Industriestandortes Deutschland. 100 Jahre Optimierung des Verbrennungsmotors ist ein schönes Beispiel dafür. Basis-Innovationen – auch disruptive Innovationen genannt – verändern dagegen in kurzer Zeit eine ganze Industrie. Die Digitalkamera und das Ende der Kodak-Firmengeschichte ist eines der viel zitierten Beispiele für solch eine Basis-Innovation. In den letzten Jahrzehnten konnte Deutschland zu Basis-Innovationen wenig beitragen. Was sind die Gründe dafür und was lernen wir aus der Geschichte des Brennstoffzellen-Antriebes dazu?

### **Die Treiber**

Im hochregulierten Mobilitätsmarkt spielt die Emissions- und Umweltgesetzgebung die entscheidende Rolle für den Markterfolg eines emissionsfreien Antriebes. Kein Automobilhersteller wird das sehr hohe finanzielle Risiko, das die Entwicklung eines solchen Antriebes kostet eingehen, um seinem laufenden und florierenden Geschäft (mit dem Verbrennungsmotor) Konkurrenz zu machen – außer er wird durch die Gesetzgebung dazu gezwungen. Bei der Brennstoffzelle war die Einführung des ZEV-Programmes im Schlüsselmarkt Kalifornien der Treiber für die Aktivitäten in den 1990er Jahren, bis dann Weltwirtschaftskrise und eine entspannte Gesetzgebung den Fortschritt auf Eis legten.

Erst mit den immer härter werdenden Gesetzgebungen der letzten Jahre müssen sich die Fahrzeughersteller erneut dem Thema stellen, da die etablierten Technologien mit den zunehmend strengeren Zielstellungen an ihre Grenzen stoßen. Im Gegensatz zu ihren westlichen Wettbewerbern verfolgen die Asiaten sehr konsequent langfristige Strategien, die sie mit staatlichen Stellen koordinieren. Die von der Konkurrenz zunächst belächelte Einführung der Hybrid-Technologie von Toyota im Jahr 1997 und der durchschlagende Erfolg mehr als 10 Jahre später sind ein schöner Beweis dafür. Dies war aber gleichzeitig nur ein erster Schritt in der Toyota-Strategie zum ultimativ „grünen“ Antrieb.

Neben der Klima- und Umweltgesetzgebung ist auch das hoch innovative Unternehmen TESLA ein wichtiger Treiber für den Umbruch in der Autoindustrie. Viele neue technologische und stark kundenorientierte Ansätze in Verbindung mit einem exzellenten Marketing haben vor allem die deutschen Premiumhersteller zum Nachmachen gezwungen.

### **Die Bremser**

In den ersten Jahren war die Unwissenheit der Akteure über die Brennstoffzelle das größte Hindernis. Die meisten konnten mit dem Begriff gar nichts anfangen und diejenigen, die die Brennstoffzelle kannten, wussten ganz bestimmt, dass sie nicht funktioniert. Hier brauchte es sehr viel Mut, Überzeugungskraft und Durchhaltevermögen der „Erfinder“. Ohne einflussreiche Entscheider wie den damaligen Daimler-Vorstand Weule, der das Geld zur Verfügung stellte und seine Organisation forderte, hätte das nicht funktioniert. Nachdem die ersten Fahrzeuge erfolgreich demonstriert wurden und das Potential erkennbar war, sprang der weltweite Wettbewerb auf den Zug auf. Bald begann er aber auch, den Vorreiter sehr subtil auszubremsen (Beispiel: Methanol ist giftig). Auch die Mineralölkonzerne blockierten sehr geschickt den Fortschritt, um ihr Geschäft nicht zu gefährden. Das recht fundamentalistisch geprägte Agieren des UBAs und der Lobbyismus der einzelnen Autofirmen leisteten ebenfalls ihren Beitrag zur vollständigen Verwirrung der Öffentlichkeit und der Akteure.

Bei den Daimler/Ballard/Ford Aktivitäten bereitete ab 1998 der starke Einfluss der beteiligten Großkonzerne auf die Strukturen und Abläufe der Entwicklung viele Schwierigkeiten, da Entscheidungen eher politisch als faktisch getroffen wurden. Das schnelle Wachstum der Organisation Ende der 1990er Jahre und die damit einhergehenden, enormen Herausforderungen für das Management taten ein Übriges. Auch die organisatorische Trennung von Brennstoffzelle (Stack) und System muss im Nachhinein als hinderlich angesehen werden. Die technischen Schnittstellen sind sehr komplex und sollten in einem frühen Stadium der Produktentwicklung besser innerhalb einer Organisation bearbeitet werden.

## Die Technologie

Das Verständnis der Potentiale einer Technologie, der physikalisch, technisch und kostenseitig limitierenden Elemente und ihrer komplexen Zusammenhänge bedarf kreativer und unabhängiger Querdenker. Die Unternehmenskulturen von Dornier und des Start Up Unternehmens Ballard Power Systems waren dafür ein geeigneter Rahmen. Grundsätzlich wird eine tragfähige langfristige Strategie gepaart mit den nötigen Freiräumen für die Entwicklung benötigt, die in einem von Serienproduktion geprägtem Großunternehmen häufig kulturell verhindert werden.

Ganz entscheidend ist ebenso, die Potentiale einer Entwicklung für Laien sichtbar zu machen und einer breiten Öffentlichkeit zu demonstrieren (Beispiel neCar 2). Die erste Generation Brennstoffzelle (1994) mit einer Leistungsdichte von 150 W/l führte nur zu ungläubigem Kopfschütteln. Mit der nächsten Generation (1996) und 900 W/l wurde das Thema spannend. Die ab dem Jahr 2000 verfügbare Technologie mit 1100 W/l ließ bereits attraktive Produkte zu. Die heutige Technologie mit 3600 W/l passt unter jede Motorhaube und überzeugt alle.

Ebenso wichtig ist es, dass die Entwicklung sich konsequent an den Kundenanforderungen orientiert, nicht im freien Raum agiert und dass realistische und gleichzeitig fordernde Ziele definiert werden. Eine große Schwierigkeit ist, dass viele Forscher oft sehr lange brauchen, bis sie den tatsächlichen Stand der Technik (in der Industrie) verstanden haben und gerne zu falschen Schlussfolgerungen oder falschen Zielstellungen neigen. Ein schönes Beispiel dafür ist die Lebensdauer der PEM-Brennstoffzelle, die lange von vielen Forschern als völlig unzureichend bezeichnet wurde. Zur gleichen Zeit hatte Panasonic in ihren kommerziellen PEM-Brennstoffzellen bereits mehr als 20.000 h Lebensdauer nachgewiesen – heute sind sie bei 90.000h. Für einen PKW braucht man 6000h – für einen Bus 25.000h.

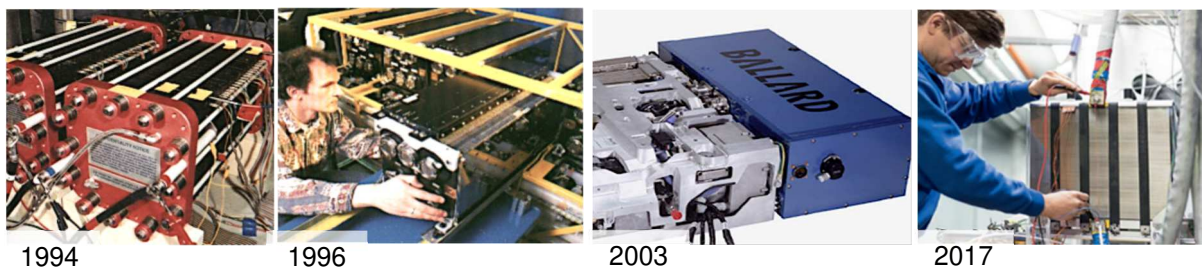


Abbildung 3: Technologische Fortschritte bei der Entwicklung der Brennstoffzelle (v.l.n.r.):

1994 für neCar1: 5 kW und 35 Zellen pro Stack, Leistungsdichte 150 W/l; 1996 für neCar2 und neBus: 25 kW und 120 Zellen pro Stack, 900 W/l; 2003 für PKW und Busse: 85 kW und 430 Zellen pro Stack, 1100 W/l; 2017 im EU-Projekt AutoStack Core entwickelt: 100 kW und 330 Zellen pro Stack, 3600 W/l (rechtes Foto: ZSW, alle anderen Fotos: © Daimler)

## Fazit

Erst im Nachhinein werden die vielen Mechanismen, Rahmenbedingungen und Faktoren, die zu Erfolg oder Misserfolg einer Basisinnovation führen, so richtig sichtbar. Vieles steht allerdings schon in den Lehrbüchern zum Innovations-Management. Ein schönes Beispiel ist die hervorragende Analyse von Clayton M. Christensen, MIT (The Innovators Dilemma) zu den Gemeinsamkeiten von disruptiven Innovationen im gesamten letzten Jahrhundert. So fand er heraus, dass aus großen Konzernen heraus so gut wie nie disruptive Innovationen entstanden sind.

Was sind die neuen Erkenntnisse aus der Geschichte der Brennstoffzelle? Die konsequente Verfolgung langfristiger Strategien, wie sie in asiatischen Kulturen oder auch in Familienunternehmen und Start-Ups (vorausgesetzt die Finanzkraft passt zum angestrebten Markt) zu finden sind, ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Basis-Innovationen. Bei hochregulierten Märkten ist eine zukunftsorientierte und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit der Politik wichtig. Beim Brennstoffzellen-Fahrzeug kommt mit der Erzeugung des Kraftstoffes Wasserstoff noch eine weitere regulatorische Hürde hinzu, die des Strommarktes. Die Kombination von Speicherung zeitweise überschüssigen Stroms aus Erneuerbaren Energien in Form von Wasserstoff und dessen Verwendung als Kraftstoff ist Kernelement unserer künftigen Energiewelt (Power to Gas). Bislang verhinderte der deutsche Gesetzgeber tragfähige Geschäftsmodelle zu diesem Thema. Das wird den weltweiten Durchbruch der Basis-Innovation Brennstoffzelle/Wasserstoff aber nicht beeinträchtigen.

## Der Autor

**Professor Dr. Werner Tillmetz** leitete von 2004 bis September 2018 als Vorstandsmitglied des ZSW den Geschäftsbereich Elektrochemische Energietechnologien und gehört der Fakultät für Naturwissenschaften der Universität Ulm an. Er promovierte in Elektrochemie 1984 an der TU München und war 20 Jahre in verantwortlichen Positionen in der Industrie tätig. Mit „Neuen Energietechnologien für die Raumfahrt“ beschäftigte er sich in seiner F&E-Tätigkeit bei Dornier. Danach folgten Brennstoffzellen für die Elektromobilität bei der DaimlerBenz AG und bei Ballard Power Systems. Bei der Süd-Chemie AG leitete er das globale Katalysatorgeschäft im Umwelt- und Energiebereich. Tillmetz gehörte zahlreichen Gremien an, u.a. dem Beirat der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH), dem Science Council der TOTAL S.A. und dem Advisory Council von Emerald Technology Ventures.

# Neue Mobilität in der Zukunftsstadt Ulm

Jennifer Pichl, Michael Schlick, Katharina Wagner, Technische Hochschule Ulm

## Abstract

Informationen in Form von realen Messdaten sind die Basis für eine neu organisierte Mobilität. Die Mobilität, wie wir sie heute kennen und nutzen, ist im Wandel. Eine neue Form der Mobilität wird sich durch Nachhaltigkeit, Struktur und neuen Synergien definieren. Das Optimum für die Gesellschaft kann aber nur erreicht werden, wenn diese Daten für alle verfügbar sind. Die Informationen müssen demokratisiert und Transparenz muss geschaffen werden.

## Hintergrund

Das jetzige Mobilitätskonzept hat bezüglich der Kapazität an Verkehrsteilnehmern, Bauraum für Straßen und Nachhaltigkeit seine Grenzen erreicht. Es soll nun durch eine nachhaltige, postfossile Mobilität ersetzt werden. Für die Umsetzung gibt es unterschiedliche Ansatzpunkte, welche die aktuelle Mobilität reduzieren, effektiver und damit nachhaltiger machen. Dabei ist die Digitalisierung ein essentieller Bestandteil aller Ansätze. Durch die damit verbundene Datenerfassung wird in den Alltag der Nutzer eingegriffen. Aus diesem Grund ist es für die Umsetzung der neuen Mobilität wichtig den Bürger in die Entwicklung zu integrieren. In Ulm werden aktuelle Konzepte für diese neue Mobilität entwickelt. Dabei steht die Transparenz im Fokus. Die Stadt möchte unter anderem unterschiedliche Mobilitätsdaten sammeln und diese dem Bürger für die weitere Verwendung zur Verfügung stellen.

## 1 STATUS QUO

### 1.1 Status Quo der Verkehrsträger

Seit der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts sind die Fahrzeugarten, die in der Mobilität zum Einsatz kommen, im Wesentlichen bekannt. In der zweiten Hälfte wurden die entsprechenden Infrastrukturen weitgehend ausgebaut, die Fahrzeuge perfektioniert und durch eine Reduktion der Kosten für eine große Anzahl an Nutzern zugänglich. Neue Verkehrsmittel wie die Magnetschwebebahn oder der Cargozeppelin konnten sich aber nicht mehr durchsetzen. Durch die Fortschritte in der Batterietechnik entstand im neuen Jahrhundert eine Welle der Motorisierung oder Motorunterstützung von einfachen Fahrzeugen. Es haben sich insbesondere Pedelecs und E-Scooter etabliert und die Einsatzmöglichkeiten der motorlosen Vorgänger deutlich erweitert. Als wirklich neues Konzept zeichnet sich ein Einsatz von Drohnen zum Beispiel zur Paketlieferung ab. Ob sich dies durchsetzen kann, ist offen.

### 1.2 Gesellschaftliche Wirkung

Ein kurzer Rückblick über die Geschichte der Mobilität zeigt, dass es eine starke Korrelation zwischen gesellschaftlichem Wandel und den Entwicklungen bezüglich der Mobilität gibt. Die erste erwähnenswerte Form der mobilisierten Fortbewegung ist die solarbasierte Mobilität. Darunter fallen die vom Menschen kaum leistungssteigernd beeinflussbaren Fortbewegungsmittel wie

Pferd und Esel. Diese wurden anschließend durch fossil-energetische Verkehrsmittel wie die Eisenbahn abgelöst. Dadurch ist eine neue Art von sozialer Mobilität entstanden, welche die demokratische Gesellschaftsentwicklung auslöste. Ab diesem Zeitpunkt war es allen Gesellschaftsklassen möglich, mobil zu sein.

Dadurch begann eine Suburbanisierung und eine erste Form des Arbeitspendelns. Anschließend gab es durch die Entwicklung des Automobils einen weiteren Umschwung. Die bisher eher kollektivistisch geprägte Form der Mobilität durch die Eisenbahn entwickelte sich nun zur individualisierten Autogesellschaft. Aktuell ist die Elektrifizierung der Fahrzeuge und der Einsatz von Brennstoffzellen im Fokus.

Der folgende Abschnitt soll die aktuelle Mobilitätslage in Deutschland kurz widerspiegeln. [4]

### **1.3 Aktuelle Lage in Deutschland**

In Deutschland lässt sich ein kontinuierliches Wachstum des Verkehrsaufkommens feststellen. Dabei spielen der Individualverkehr und der Güterverkehr eine große Rolle. So wuchs die Anzahl der angemeldeten Personenkraftfahrzeuge von 45,0 Mio. in 2016 auf 45,8 Mio. in 2017 und die Beförderungsmenge der Güter im Gesamtverkehr von 4,0 Mio. Tonnen im Jahr 2016 auf 4,1 Mio. Tonnen im Jahr 2017 an. Es ist zu beachten, dass allein 3 Mio. Tonnen im Straßenverkehr transportiert wurden und die Transportmenge beispielsweise im Eisenbahnverkehr um ca. 14000 Tonnen gesunken ist.[3]

Demgegenüber steht eine Straßeninfrastruktur, die einerseits nur träge ausgebaut wird und andererseits eine gebietsabhängige Platzgrenze erreicht hat. Die Folgen sind überfüllte, baufällige Straßen und Gehwege, lange Stauzeiten sowie Unfälle. Während es für den Zustand der Straßen in Deutschland keine einheitliche Übersicht gibt, spricht unter anderem die Zeit, die ein Autofahrer durchschnittlich im Stau verbringt, für sich. Bei exemplarischer Betrachtung der Städte Berlin und Wiesbaden verbrachte ein Autofahrer im Jahr 2018 durchschnittlich 154 Stunden beziehungsweise 57 Stunden im Stau. [2]

Die Ursachen für das Wachstum im Straßenverkehr und die resultierenden Probleme lassen sich nicht einfach darstellen. Einige Ursachen dieser Probleme liegen nicht nur im Zustand der deutschen Straßen und der Vormachtstellung des Individual- und Güterverkehrs begründet. Gerade sogenannte Stoßzeiten entstehen hauptsächlich durch den einheitlichen Alltag der Bevölkerung. Beispielsweise gibt es den Berufsverkehr, der die Straßen verstopft und somit auch die öffentlichen Verkehrsmittel blockiert. Bisher galt der Ausbau der Straßeninfrastruktur als einzige Lösung des Problems. Jedoch resultieren baufällige Straßen aus der Vernachlässigung der Unterhaltskosten für die Straßenerhaltung. Dies indiziert, dass aktuell nicht ausreichend finanzielle Mittel für den Ausbau der Straßeninfrastruktur vorhanden sind. Zudem kommt es durch den Bau weiterer Straßen zu einer Schädigung der Umwelt sowie einer maximal möglichen Ausnutzung des Raums zum Straßenbau. Für die Zukunft sind daher neue Ansätze zur Verbesserung des Verkehrs und damit der Lebensqualität der Bevölkerung notwendig. So kann beispielsweise in Zukunft eine Steuerung des Verkehrs durch digitale Hilfsmittel erfolgen. Es wird deutlich, dass sich die Mobilität, wie wir sie heute kennen, ändern muss.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das erforderliche Wachstum des Mobilitätsangebots nicht mehr über einen weiteren Ausbau der klassischen Infrastruktur abbildbar ist. Vielmehr müssen Wege gefunden werden, die vorhandenen Ressourcen nachhaltiger zu nutzen. Angesichts der gesellschaftlichen Relevanz der Mobilität muss dies aber im Dialog mit der Gesellschaft gestaltet werden.

## 2 MOBILITÄT IM WANDEL

Wie in Abschnitt 1.2 deutlich wurde, war das vorherrschende Mobilitätsprinzip schon immer prägend für die Gesellschaft, weshalb die Mobilität im Mittelpunkt von Änderungen und Innovationen steht. Der folgende Abschnitt stellt zusammenfassend dar, wohin der aktuelle Trend in der Mobilität geht.

### 2.1 Nachhaltige, postfossile Mobilität - Neue Entwicklungen und Trends

Der aktuelle Trend in der Mobilität distanziert sich vom Verbrennungsmotor und entwickelt sich in Richtung einer nachhaltigen, postfossilen Mobilität. Dabei kommen immer mehr Konzepte zum Tragen, die den Verkehr verringern sollen. Als Vorschläge für die Umsetzung nachhaltiger Mobilität nennt Werner Reh in [4] folgende Punkte:

- den Abbau umweltschädlicher Steuerbegünstigung und die Anlastung von externen Kosten wie beispielsweise eine Aufhebung des steuerfreien Kerosinverbrauchs,
- nachhaltige Infrastrukturplanung und Logistik, wie beispielsweise den Ausbau und anschließend die Umlegung des Güter- und Personenverkehrs auf die Bahn und den öffentlichen Nahverkehr,
- das Auto der Zukunft, um so weg vom großen Luxusauto und hin zum funktionellen Kleinwagen, gespeist durch grüne Energie, zu kommen,
- Die Zukunft des Stadtverkehrs soll auf Fahrräder und den öffentlichen Nahverkehr fokussiert werden und gezielt ausgebaut und subventioniert werden.
- Nachhaltige Mobilität und Multimodalität im ländlichen Raum sollen durch Konzepte wie (e-)Bike-Sharing, Mitfahrgelegenheiten und gut abgestimmte Fahrpläne öffentlicher Nahverkehrsmittel realisiert werden.

Einige Aspekte sind bereits aus neuen Mobilitätskonzepten bekannt. Besonders Sharing-Systeme für die Beförderung von Personen stehen in der Diskussion.

### 2.2 Sharing Allgemein

Das Mobilitätskonzept Sharing erlaubt es Personen Verkehrsmittel für einen gewünschten Zeitraum auszuleihen und reduziert so die Anzahl an Fahrzeugen. Der Vorteil für den Nutzer liegt dabei vor allem in einer hohen Flexibilität und der Einsparung von externen Kosten für ein eigenes Fahrzeug. Unterschieden wird hier zwischen einem stationsbasierten und einem free-floating System. Ersteres schränkt die Flexibilität des Nutzers in dem Sinn ein, dass die geliehenen Fahrzeuge zu einer Station zurückgebracht werden müssen. Dies kann jedoch in unterschiedlich großen Städten wirtschaftlich betrieben werden. Das Free-floating ermöglicht das Abstellen an mehreren unterschiedlichen, teilweise beliebigen Orten. Free-Floating für Autos gibt es erst seit 2008. Entwickler dieser Mobilität für das Auto ist car2go. Heute ist car2go weltweit an 24 Standorten Anbieter von Sharing Fahrzeugen [1]. Das Unternehmen ist inzwischen nicht mehr der einzige Anbieter eines solchen Car-Sharing Systems.

car2go in Ulm

Das Pilotprojekt, welches den Beginn von car2go in 2008 darstellt, wurde in Ulm durchgeführt. Besonders interessant ist dabei nicht die folgende Erfolgs- und Wachstumsgeschichte des Unternehmens, sondern die weitere Entwicklung in der Ursprungsstadt. Nach dem anfänglichen Erfolg in Ulm wurde der Betrieb innerhalb der Stadt Ende 2014 eingestellt. Der Grund für den Verlust und die Einstellung des Betriebes in der Stadt war dabei vor allem die geringe Nutzerquote, die mit einem Drittel der registrierten Nutzer deutlich unter den 80 Prozent der anderen Städte lag und auf die geringe Einwohnerzahl zurückgeführt wird [7]. Diese Gründe, die zur Einstellung von

car2go in Ulm geführt haben, sind die Risiken, die für Start-Ups in kleinen Städten entscheidend sind. Die Unsicherheiten, die durch eine kleine Einwohnerzahl und damit verbunden eine geringe Nutzung entstehen, bieten einen marginalen wirtschaftlichen Anreiz für Sharing Unternehmen. Demgegenüber steht der Erfolg von stationsbasiertem Car-Sharing in Ulm. Ein entsprechendes Angebot besteht seit mehreren Jahren und wird wirtschaftlich erfolgreich betrieben. Bisher hat sich kein Anbieter gefunden, der ein Bike-Sharing-System in Ulm aufbaut, ohne auf signifikante Subventionen zurückgreifen zu wollen.

### 3 DIGITALISIERUNG

Neben dem Konzept des Sharings sind unter dem Begriff der Digitalisierung weitere Mobilitätskonzepte entstanden. Daten sind jederzeit, überall und nahezu ohne direkte Kosten verfügbar. Informationen können neu vernetzt und Prognosen für Staus, alternative Verkehrswege oder Verkehrsmittel erstellt werden. Der Weg zu einer intermodalen Mobilität, die einen flexiblen Nutzen der unterschiedlichen Verkehrsmittel bietet, wird somit möglich.

Erste Entwicklungen auf diesem Gebiet finden sich beispielsweise in Anwendungen für Mobilitätskonzepte, dem Internet der Dinge und dem automatisierten Fahren wieder.

#### 3.1 Mobilitätsauskünfte

Verschiedene Anbieter, zum Beispiel aus dem ÖPNV, von Fahrzeugherstellern oder IT Unternehmen, bieten Lösungen zur intermodalen Mobilität an. Beispielsweise hat sich das Unternehmen Moovel, eine Tochter von Daimler und BMW, mit ihrem Produkt Mobility App einen Namen gemacht. Die App verknüpft alle vorhandenen Mobilitätsarten und vereinfacht somit die Reiseplanung und Durchführung für den Endnutzer. Dabei bietet sie in Verbindung mit Messdaten in Echtzeit einen Mehrwert für den Nutzer. Beispielsweise werden Echtzeitdaten der Parkplatzauslastung und die realen Ankunftszeiten des ÖPNV angezeigt. Dabei bieten sich Möglichkeiten der Stauumfahrung, und die Variationen der Mobilitätsangebote können effektiver und leichter genutzt werden. Gleichzeitig wird ein Beitrag zur Nachhaltigkeit geleistet.

#### 3.2 Automatisiertes Fahren

Eine weitere aktuell stark diskutierte Methodik ist das automatisierte Fahren. Es ist davon auszugehen, dass das automatisierte Fahren, sobald die technischen und rechtlichen Hürden überwunden sind, sich im Markt etablieren wird. Eine Folge hiervon wird ein steigendes Verkehrsaufkommen sein. Selbst für einen Einsatz im ÖPNV ist in den meisten Szenarien von einem steigenden Verkehrsaufkommen auszugehen. [8]

#### 3.3 Das Internet der Dinge

Neben der Veränderung der physischen Mobilität entstehen in unserer Umwelt immer mehr Hilfsinfrastrukturen, die unsere physische Mobilität überflüssig werden lassen. Ein aktuelles Beispiel dafür ist das Low Power Wide Area Network, kurz LoRaWAN. Als Funknetzwerk bietet dieses die Möglichkeit der unkomplizierten und kostenlosen Kommunikation zwischen verschiedenen Geräten. Hierzu soll ein konkretes Beispiel genannt werden:

Herrenberg, eine mittelgroße Stadt im Landkreis Böblingen, hat im Winter 2018 den Winterdienst "auf digitale Beine gestellt" [5]. Normalerweise musste ein Mitarbeiter des Winterdienstes täglich die Wetterbedingungen auf den Straßen in Herrenberg prüfen. Dies wird nun durch

Sensoren übernommen, welche die gesammelten Daten über LoRaWan verschicken. Der Mitarbeiter kann nun seine Aufgabe von zuhause aus erledigen ohne physisch mobil sein zu müssen. Diesen Konzepten stehen einige Herausforderungen gegenüber.

### 3.4 Herausforderungen

Neben vielen anderen Pflichten ist die Zurverfügungstellung von freien Daten, beziehungsweise Open Data auch Aufgabe von öffentlichen Einrichtungen. Diese Pflicht ist in der Richtlinie 2013/37/EU oder auch PSI-Richtlinie (Public Sector Information) nicht nur deutschlandweit verankert. Es werden zum Beispiel Informationen zum Anstieg des Verkehrs auf den deutschen Straßen gesammelt und in einheitlichen Formaten der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Für neue Anwendungen, die vor allem in Echtzeit ablaufen, sind diese Daten unbrauchbar. Das Problem hierbei liegt insbesondere in der Art, wie die Daten zur Verfügung gestellt werden. Das Herunterladen von Daten aus der Datenbank ist nur für bestimmte Zeiträume möglich, die in der Vergangenheit liegen. Beispielsweise können Daten des letzten Monats oder eines ganzen Jahres geladen werden. Für Verkehrsanwendungen werden jedoch Daten benötigt, die im aktuellen Moment beziehungsweise in Echtzeit entstehen. Das Erfassen und Speichern von Daten in Echtzeit ist allerdings teuer und wird daher bisher hauptsächlich von privaten Firmen durchgeführt. Die Möglichkeit, Echtzeitdaten aus einer öffentlichen Plattform zu erhalten, ist gerade aus Sicht der Transparenz sinnvoll und notwendig. Private Firmen sind nicht verpflichtet, die Daten der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen. Während personenbezogene Daten für den Betroffenen einsehbar und änderbar sein müssen, gilt dies für alle anderen Daten nicht. Dies hat vor allem dazu geführt, dass eine private Firma wie Google eine Monopolstellung einnimmt und die gesammelten Daten kommerziell vermarktet. Welche Daten genau erfasst werden und welche Unternehmen Zugriff auf diese Daten haben, bleibt ungewiss. Der Nachteil, der dabei unter anderem für kleinere Unternehmen entsteht, wurde innerhalb der Europäischen Union erkannt, und es wird bereits seit 2018 über eine Änderung der Europäischen PSI-Richtlinie verhandelt. Ziel ist die Verbesserung der zur Verfügung gestellten Daten, wie die Veröffentlichung von Geodaten und Echtzeitdaten. Sowohl die Monopolstellung der privaten Firmen als auch die Möglichkeit von Open Data in Echtzeit wird in der Gesellschaft kritisch gesehen. In beiden Fällen besteht die Gefahr, dass ein Optimum nur für Unternehmen und nicht für die Öffentlichkeit realisierbar ist. Dadurch wird ein Missbrauch von Daten und der Verlust von Transparenz möglich.

## 4 BÜRGERINTEGRATION

Durch neue Forschungs- und Entwicklungskonzepte wie das Reallabor sollen Bürger bereits während der Entwicklung neuer Technologien und Konzepte miteinbezogen werden. Dies ist vor allem bei der Schaffung neuer Mobilitätskonzepte maßgeblich. Neue Mobilitätsformen haben gravierende Auswirkungen auf den Alltag der Bürger und müssen daher von ihnen als Anwender grundlegend akzeptiert werden. „Weder Moralisierung noch pures Städtemarketing werden die Mobilitätswende lösen, sondern sorgfältige Arbeit mit allen Beteiligten und deren Kooperation untereinander“ [6, S. 57]. Darum soll zusammen mit den Bürgern eine offene Vernetzungs- und Datenplattform geschaffen werden. Ziel ist, dass die Kommune als Betreiber agiert und die Plattform demokratisch legitimiert und wirkungsvoll kontrolliert wird.



### 5.1 Problemstellung

Die Stadt Ulm will im Zuge des Zukunftsstadtprojektes die Stadt digitaler machen. Dabei sollen zunächst Mobilitätsdaten mittels Sensoren gesammelt werden, um so eine validierte Grundlage für das weitere Vorgehen zur Verbesserung der Mobilität und vor allem für das Wohlbefinden der Bürgerschaft zu entwickeln.

Von Unternehmen wie Google nutzen wir bereits verschiedene Anwendungen um unsere Mobilität komfortabler zu gestalten. Google kann im Vorfeld bereits Aussagen treffen, wie die Verkehrslage auf dem Heimweg sein wird, ob eine andere Abfahrtszeit sinnvoll wäre oder es eine geeignetere Route gäbe. Viele Menschen stehen diesem Großkonzern skeptisch gegenüber, wie bereits in Abschnitt 3.4 kurz erläutert, jedoch siegt die Gewohnheit oft. Die einzige Alternative, sowohl diesen Luxus als aber auch die Kontrolle über unsere Daten zu behalten, ist die Daten gezielt freizugeben in ein vorher bestimmtes und geregeltes Umfeld. Die notwendige Forschung und Entwicklung für diese neue, organisierte Mobilität kann ohne reale Daten nicht realisiert werden. Das Konzept des Themenfeldes Mobilität Teilen von Bewegungsinformation für Mobilitätsinnovation im InnoSÜD-Projekt will gezielt Daten erfassen, die allen Bürgern gleichermaßen zur Verfügung gestellt werden, um so einen offenen Raum für Innovationen zu schaffen.

### 5.2 Projekte

Aktuell werden dabei bereits einige Konzepte in verschiedenen Projekten entwickelt und getestet, welche nun kurz vorgestellt werden.

#### Projekt Fahrradständer

Durch eine erhöhte Fahrradnutzung kommt es vor, dass es nicht möglich ist, das Fahrrad in der Nähe des Zielortes abzustellen. Für die Stadtplaner ist es schwierig, im Vorfeld abzuschätzen, an welchen Standorten Fahrradständer benötigt werden. Aus diesem Anwendungsfall heraus entwickelt das Mobilitätsteam des InnoSÜD Projektes einen mobilen Fahrradständer, der in Echtzeit die aktuelle Anzahl an abgestellten Fahrrädern übermittelt. Dieser soll mobil gestaltet werden, um so nachhaltig an verschiedenen Orten vom Bürger bestimmt den Bedarf an Fahrradabstellmöglichkeiten zu verifizieren.

#### Projekt Haltestellensensor

Mittels Haltestellensensoren sollen in Ulm die Situationen an den Haltestellen erfasst werden. Es sollen damit Umstiegsverbindungen und Zeiten ermittelt werden. Basierend hierauf können Fahrpläne optimiert und die Kundenzufriedenheit kann erhöht werden.

Bei einer Weiterführung dieses Konzeptes kann eine dynamische Anpassung von Fahrzeugen und Fahrplänen an die Fahrgastzahlen erfolgen.

#### Projekt Fahrrad

Um das Fahrrad als Mobilitätsmedium im Stadtgebiet attraktiver zu machen, sind einige Fahrradstraßen und Fahrradwege in Ulm entstanden. Dadurch sollen nun auch große Straßen entlastet werden. Durch eine freiwillige Teilnahme an einer Mobilitätsstudie werden an den Fahrrädern der Probanden der THU eigens entwickelte LoRa-Boxen angebracht. Diese Boxen senden in regelmäßigen Abständen GPS-Daten über LoRaWan an eine Datenbank. So kann anschließend die Auslastung der Straßen durch Fahrräder ausgewertet und neue Fahrradstraßen können je nach Bedarf geplant werden.

## Projekt Bike-Sharing

Fahrräder sind deutlich flexibler als Autos und bieten auch einige Vorteile in einem Sharing System. So müssen beispielsweise keine speziellen Parkplätze bereitgestellt werden, und nur bestimmte motorisierte Fahrräder benötigen einen Führerschein. Für ein Free-Floating-System eignen sich die Räder durch den geringen Platzbedarf ebenfalls. Trotzdem sind solche Systeme besonders in kleinen Städten nicht zu finden. Das ist ein Mangel, der auch der Stadt Ulm im Fahrradklimatest 2018 [9] zugeschrieben wurde. Mit dem Zukunftsstadtprojekt soll daher ein Bike-sharing System in Ulm getestet werden. Dabei sind die oben erwähnten LoRa-Boxen ein Teil des Systems. Ziel ist es, zu ermitteln, wie das Sharing-System in der Stadt genutzt wird, um damit die Basis für ein Community-Bike-Sharing zu legen.

Der Vorteil des Systems gegenüber anderen ist die Möglichkeit, das eigene Rad als Sharing-Rad zu nutzen. Dabei ist ein rein öffentliches Sharing-System nicht das Hauptziel. Vielmehr sollen unterschiedliche Gruppen die Möglichkeit erhalten, ihr Rad beziehungsweise ihre Räder untereinander zu teilen, ohne ein spezielles Rad zu besorgen. Mit anderen Worten besteht das System unter anderem aus einem intelligenten Fahrradschloss, welches für unterschiedliche Räder ausgelegt ist. Eine Bedienung mittels App und ein möglicher Fernzugriff sollen dabei auch untersucht werden.

## Zusammenfassung

Die Mobilität war und ist ein wichtiger Bestandteil des alltäglichen Geschehens. Mit dem stetigen Wachstum im Straßenverkehr entstehen allerdings viele Probleme, die den Verkehr verlangsamen und die Lebensqualität in Deutschland beeinträchtigen. Der Mobilität steht daher ein Wandel bevor, welcher viele Möglichkeiten und Risiken schafft. Teil dieses Wandels sind neue Mobilitätskonzepte, die eng mit der Digitalisierung verbunden sind. Für die Bürger ist dies ein Eingriff in den Alltag und teilweise schwer verständlich. Daher ist das Mitwirken der Bürger für eine barrierefreie, neue Mobilität wichtig. Mit Projekten wie InnoSÜD und Zukunftsstadt Ulm wird dieses Mitwirken bereits ermöglicht. Bürger-Mobilitäts-Plattformen werden nicht mit den kommerziellen Plattformen konkurrieren können. Sie stellen aber ein zusätzliches Element dar, das Öffentlichkeit schafft, Freiheit von Information insbesondere regional ermöglicht und hilft Mobilität demokratisch zu gestalten. Eine Herausforderung für die neue Mobilität in Ulm ist, dass die Kosten dieser transparenten Systeme tragbar sein müssen.

## Danksagung

Die beschriebenen Arbeiten finden im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts InnoSÜD statt.

## LITERATUR

- [1] Stationsunabhängiges Carsharing leicht gemacht: So funktioniert car2go. <https://www.car2go.com/media/data/germany/microsite-press/files/2018basisinformation-car2go.pdf>. Version: 2018
- [2] Traffic Scorecard. <http://inrix.com/scorecard/>. Version: 2018
- [3] VerkehrAktuell. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Publikationen/Downloads-Querschnitt/verkehr-aktuell-xlsx-2080110.html>. Version: März 2019
- [4] E.V. oekom (Hrsg.): Postfossile Mobilität - Zukunftstauglich und vernetzt unterwegs. München, oekom verlag, 2014. ISBN 978-3-86581-486-9
- [5] HERRENBERG Stadtverwaltung: Sensoren melden Temperatur und Feuchtigkeit auf Straßen. <https://www.herrenberg.de/de/Rathaus/Aktuelles-Presse/Stadtnachrichten/Nachricht?view=publishitem=articleid=1189>. Version: Dezember 2018
- [6] JANSEN, S. A.: Die Auto-Biographie von Städten - Fragen an Stephan A. Jansen. In: brandeins 4 (2018), S. 56-57
- [7] KONIG, Frank: Autovermietung Car2go macht in Ulm dicht. <https://www.car2go.com/media/data/germany/microsite-press/files/2018basisinformation-car2go.pdf>. Version: 2018
- [8] MAYER-GRENU, A.: Autonomer Kollaps. In: Forschung Leben 9 (2017)
- [9] SCHREIER, Baum J. H.: ADFC-Fahrradklima-Test 2018 Auswertung Ulm. <https://www.fahrradklima-test.de/karte>. Version: 2018

## Autorinnen und Autor

**Prof. Dr. Michael Schlick** ist der stellvertretende Leiter des Instituts für Angewandte Forschung und Studiendekan des Masterstudiengangs für Elektrische Energiesysteme und Elektromobilität an der Technischen Hochschule Ulm. Nach seinem Studium der Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe (heute KIT) promovierte er an der Université de Haute-Alsace, Mulhouse (Frankreich) im Bereich der Künstlichen Intelligenz. Er arbeitete dann bei der Robert Bosch GmbH in der Entwicklung zum assistierten / autonomen Fahren, im Bereich Motorsteuerung und gestaltete später wesentlich die Vernetzung der europäischen Ladedienstleister für Elektromobilität. Gemeinsam mit Städten und Regionen gestaltete er Mobilitätsplattformen zur Vernetzung von Diensten. 2015 wurde Michael Schlick zum Professor für Fahrzeugelektronik berufen. Seine Hauptforschungsgebiete sind Elektromobilität und vernetzte Mobilitätsdienste, dort ist er in verschiedene Forschungsprojekte eingebunden. Er ist Mitglied des Innovationsausschusses der Stadt Ulm und berät die Stadt zu Fragen der Mobilität.

**Jennifer Pichl** absolvierte im August 2018 ihren Bachelor of Science im Studiengang Internationale Energiewirtschaft an der Technischen Hochschule Ulm. Seit November 2018 ist sie dort wissenschaftliche Mitarbeiterin und arbeitet im Projekt InnoSÜD. Parallel studiert sie Elektrische Energiesysteme und Elektromobilität im Master.

**Katharina Wagner** erhielt 2018 ihren Bachelor of Science in Computational Science and Engineering mit der Zusatzspezifikation Fachingenieur Hydraulik an der Universität Ulm und der Technischen Hochschule Ulm. Seit Oktober 2018 absolviert sie ihren Master in Elektrische Energiesysteme und Elektromobilität ebenso an der Technischen Hochschule Ulm. Sie arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Technischen Hochschule im Projekt InnoSÜD.

# Digitale Kamera-Monitor-Systeme und zukünftige Innovationen im Connected Car Szenario

Prof. Dr. Anestis Terzis, Technische Hochschule Ulm

## Abstract

Fahrzeuge müssen mit Einrichtungen zur Ermöglichung einer indirekten Sicht, in der Regel klassische Spiegel, ausgestattet sein. Die Neufassung der entsprechenden Regelung in Kombination mit dem Standard ISO 16505:2015 beschreibt die technischen Anforderungen für den Ersatz von derartigen Spiegeln durch digitale Kamera-Monitor-Systeme. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit Kamera-Monitor-Systemen und stellt verschiedene Architektur-Konzepte vor. Ausgehend von den technischen Anforderungen werden zukünftige Ausbaustufen vorgestellt und diskutiert. Das Connected Car Szenario wird neue Architektur-Konzepte für die Signalverarbeitung und neue Funktionen ermöglichen.

## Einleitung

Für die Zukunft der Mobilität sind die Themenfelder Automatisiertes Fahren, Connected Car, Elektromobilität und Shared Services von großer Bedeutung. Die Erhöhung der Verkehrssicherheit, der verantwortungsvolle Umgang mit fossilen Rohstoffen sowie die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen war und ist auch weiterhin von hohem gesellschaftlichen Stellenwert. Der Ersatz der gesetzlich vorgeschriebenen Fahrzeug-Außenspiegel durch digitale Kamera-Monitor-Systeme (kurz KMS) kann dazu beitragen diese Ziele zu erreichen. Bei dieser technischen Maßnahme kann der Außenspiegel entfallen, wodurch sich der Luftwiderstand des Fahrzeugs reduzieren kann. Als Substitution des Spiegels nimmt eine digitale Kamera das Fahrgeschehen im Fahrzeugumfeld auf und stellt die visuelle Information des entsprechenden Sichtfeldes auf einem geeigneten Display im Fahrzeug dar. Derartige KMS sind mittlerweile zulassungsfähig geworden. Dabei gilt es die Anforderungen der im Jahr 2016 aktualisierten UN ECE Regelung Nr. 46 (kurz UN R.46) [1] in Kombination mit dem Standard ISO 16505:2015 [2] zu erfüllen. Zu diesen Anforderungen zählen die Sicherheitsaspekte, die Ergonomieaspekte, die Leistungsfähigkeit und die Testverfahren für derartige Kamera-Monitor-Systeme. Im Jahr 2018 kamen erste Serienfahrzeuge, der Audi e-tron und der Mercedes-Benz Actros, mit diesen Systemen auf dem Markt.

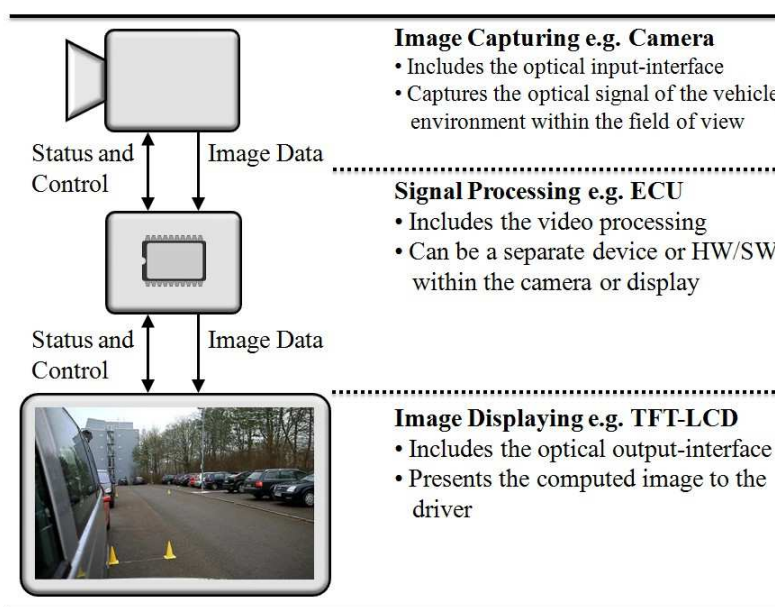
Der reduzierte Luftwiderstand kann zu einer Optimierung der Aerodynamik führen sowie zu einer möglichen Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bei einem LKW kann diese Maßnahme die CO<sub>2</sub>-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch in der Größenordnung von bis zu 2% reduzieren. Für eine Spedition kann das pro LKW beispielsweise zu Einsparungen bei den Kraftstoffkosten von ca. 1.300 € pro Jahr führen [3]. Bei Elektrofahrzeugen kann die Reichweite und bei Sportwagen die Höchstgeschwindigkeit erhöht werden. Gerade im Premiumsegment kann durch diese Maßnahme auch die Aeroakustik, für die Insassen erlebbar, verbessert werden. Ein wesentlicher Sicherheitsaspekt ist, dass durch ein KMS ein optimiertes Sichtfeld angezeigt werden kann.

Mit klassischen Außenspiegeln muss beispielsweise ein LKW-Fahrer/Fahrerin zwei unterschiedliche Spiegel fahrerseitig und vier beifahrerseitig gleichzeitig nutzen. Trotz dieser hohen Spiegel-Anzahl gibt es im Fahrzeugumfeld weiterhin Sichtschatten, bekannt als „tote Winkel“. Diese Sichtschatten stehen häufig in Zusammenhang mit tödlichen Unfällen zwischen LKW und Radfahrer [3]. Digitale KMS können ein optimiertes Sichtfeld anzeigen und die Art der Darstellung

optimieren. Voraussetzung dafür ist der Einsatz einer Kamera mit einem entsprechenden Öffnungswinkel. Bei einem konventionellen Spiegel kann durch eine Kopfbewegung die indirekte Sicht bei Bedarf variiert werden, was zu einem erhöhten Bewegungsbedarf führt. Die Anzeige eines optimierten Sichtfeldes in Kombination mit ergonomisch vorteilhaften Display-Positionen kann diesen Bewegungsbedarf reduzieren. Bei konventionellen Spiegeln tritt auch die Situation ein, bei der der Fahrer durch die Sonne oder durch die Scheinwerfer von Folgefahrzeugen geblendet wird. Diese Blend-Effekte können durch Kamera- Monitor-Systeme deutlich reduziert werden. Technisch ist es heute möglich situativ die Anzeige optimiert zu variieren. Bildverarbeitungs-Algorithmen können auch genutzt werden um kritische Objekte, wie z. B. sich nähernde Fahrzeuge oder Radfahrer, zu erkennen, und der Fahrer/Fahrerin kann rechtzeitig gewarnt werden. Derartige Fahrerassistenzsysteme können Warnungen beispielsweise akustisch oder visuell durch Overlays im Bild ausgeben.

## I. KMS ARCHITEKTUREN UND TECHNISCHE ANFORDERUNGEN

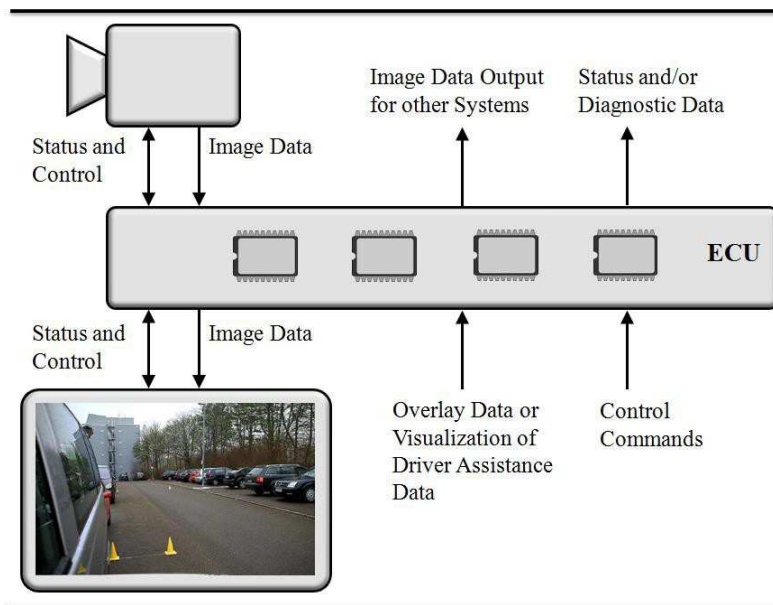
Die Basis-Aufgabe eines KMS besteht darin, ein optisches Bildsignal vom vorgeschriebenen Sichtfeld zu erfassen und dem Fahrer in Echtzeit als flüssiges Bild optisch im Fahrzeug darzustellen. Der Standard ISO 16505:2015 unterscheidet zwischen zwei verschiedenen Architekturen für KMS. Für die Basis- Architektur eines KMS werden in der Regel drei Hauptkomponenten benötigt. Die Bilderfassung erfolgt üblicherweise mittels einer digitalen Kamera. Das Kamerasignal wird zu einem Steuergerät (ECU) übertragen um weiter verarbeitet zu werden. Das Steuergerät bereitet das Bild derart vor, so dass es auf dem Display optimal dargestellt werden kann. Zwischen dem Steuergerät und dem Display gibt es eine Video-Schnittstelle sowie eine weitere Schnittstelle zur Übertragung von Steuer- und Kontrolldaten zwischen den einzelnen Komponenten. Die folgende Abbildung zeigt die Basis-Architektur eines KMS.



**Abbildung 1 Basis Architektur eines KMS [3]**

Wird die Basis-Architektur um weitere Schnittstellen erweitert, so spricht man von einer erweiterten Architektur. Diese Schnittstellen können genutzt werden, um die Video-Daten, Status-Daten bzw. Diagnose-Daten an andere Steuergeräte oder Displays zu senden. Für die Steuerung

des KMS können weitere Kontroll-Daten eingelesen werden. Im Rahmen einer Sensor-Fusion oder für Visualisierungs- Funktionen können Daten von anderen Fahrerassistenzsystemen eingelesen werden. Die folgende Abbildung zeigt eine erweiterte Architektur eines KMS.



**Abbildung 2: Erweiterte Architektur eines KMS [3]**

Der Standard ISO 16505:2015 ist unabhängig von einer konkreten technologischen Umsetzung geschrieben. Die in der Abbildung 2 gezeigten Schnittstellen können mit unterschiedlichen Vernetzungstechnologien realisiert werden. Für die Bildaufnahme können auch beispielsweise mehrere Kameras verwendet werden. Es ist möglich jedes Kamerabild auf einem separaten Display darzustellen. Alternativ kann beispielsweise im LKW-Einsatz für die Sichtfeldklasse II (Hauptaußenrückspiegel) und für die Sichtfeldklasse IV (Weitwinkel-Außenspiegel) ein entsprechend größeres Display eingesetzt werden, welches beide Bilder gleichzeitig darstellt. In diesem Fall ist es nötig, dass beide Sichtfelder für den Fahrer bzw. für die Fahrerin klar trennbar sind z.B. durch eine Trennlinie im Bild. Zusätzlich kann in anderen Realisierungsvarianten im selben Display auch noch eine vorteilhafte Darstellung der Sichtfelder II, IV und V (Nahbereichs- oder Anfahr-Außenspiegel) kombiniert erfolgen. Dadurch müssen bei der Fahrzeugführung beifahrerseitig nicht mehr vier unterschiedliche Spiegel genutzt werden, sondern nur noch ein entsprechendes Display. Eine derartige Umsetzung wird in [3] beschrieben und hat auch ergonomische Vorteile.

Der Standard ISO 16505:2015 definiert die technischen Mindestanforderungen an ein KMS. Die anzuzeigenden Mindest-Sichtfelder entsprechen den Vorgaben der UN ECE-Regelung Nr. 46. Ein systembedingter Vorteil eines Spiegels gegenüber einem KMS ist die Echtzeitfähigkeit. Durch die Verarbeitungskette, bestehend aus Kamera, Datenübertragung, Signalverarbeitung und Anzeige, ergeben sich Verzögerungen. Der Standard verlangt eine komplette System-Latenzzeit von < 200 ms und eine Bildwiederholrate von mindestens 30 Hz (mindestens 15 Hz in dunklen Situation). Bei den Auflösungsanforderungen des Systems beschreibt die ISO 16505:2015 einen Vorgang, der die Kamera- und Display-Positionen sowie die gesetzlich vorgeschriebene Sehschärfe des Fahrers bzw. der Fahrerin berücksichtigt. Als Bewertungsmaß für die Auflösung wird eine Modulationsübertragungsfunktion (MTF, Modulation Transfer Function) herangezogen. Der Fahrer bzw. die Fahrerin sollen im Vergleich zum konventionellen Spiegel

ein möglichst gewohntes Bild sehen. Hierfür werden so genannte Vergrößerungsfaktoren vorgeschrieben, die eine Mindestabbildungsgröße sicherstellen. Bei den Schärfe- und Auflösungsanforderungen derartiger KMS, richten sich die Parameter nach dem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges. Dadurch wird die Darstellung eines scharfen Bildes sichergestellt. Die folgende Tabelle zeigt einen Auszug aus den Anforderungen.

**Tabelle 1: KMS-Anforderungen gemäß ISO 16505:2015**



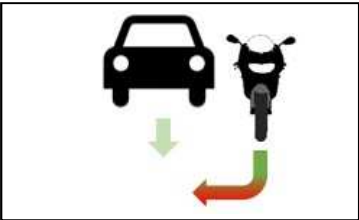
Parameter	Requirement/Value
Field of View (FOV)	Display the required FOV, e.g., according to UN R.46
System latency (glass to glass)	< 200 ms (at room temperature 22 °C ± 5 °C)
Image formation time (display)	< 55 ms (at room temperature 22 °C ± 5 °C)
Frame rate	≥ 30 Hz (≥ 15 Hz, e.g., in night situations)
Operating readiness (system availability)	a) Switch-on-time for a cold start $t_{ON} \leq 7$ s b) $t_{RESTART} \leq 1$ s for a stand-by-modus
Average magnification factor in horizontal and vertical direction (the same method also applies to the minimum factors)	$M_{system/hor/avg} \geq M_{mirror/driver/avg}$ $M_{system/ver/avg} \geq M_{mirror/driver/avg}$  $M_{system/hor/avg} \geq M_{mirror/passenger/avg}$ $M_{system/ver/avg} \geq M_{mirror/passenger/avg}$
Resolution in horizontal direction	$MTF10_{(1:1)/hor} \geq MTF10_{MIN(1:1)/hor}$
Resolution in vertical direction	$MTF10_{(1:1)/ver} \geq MTF10_{MIN(1:1)/ver}$
Sharpness in horizontal direction	$MTF50_{(1:1)/hor} \geq \frac{1}{2} (MTF10_{MIN(1:1)/hor})$
Sharpness in vertical direction	$MTF50_{(1:1)/ver} \geq \frac{1}{2} (MTF10_{MIN(1:1)/ver})$
Luminance and contrast rendering (values for minimum luminance contrast on the monitor)	a) for direct sunlight condition: 2:1 b) for day condition with diffuse ambient light: 3:1 c) for sunset condition: 2:1 d) for night condition: 5:1

Für alle in der Tabelle aufgeführten Anforderungen werden auch die entsprechenden normgerechten Testverfahren in der ISO 16505:2015 beschrieben. Da es sich bei einem Kamera-Monitor-System um elektronische sicherheitsrelevante Funktionen handelt, wird für den Systementwurf die Anwendung der in der ISO 26262 beschriebenen Prozesse verlangt.

Beim Funktionsumfang der KMS wird es verschiedene Entwicklungsstufen geben [4]. Während ein KMS der Generation 1 lediglich das entsprechende Sichtfeld und Einstelloptionen darstellt, enthalten die Systeme der Generation 2 auch Fahrerassistenzsysteme um beispielsweise kritische Objekte zu erkennen. In der Generation 3 können die Systeme auch über abstrakte Darstellungen verfügen, die als Virtual Reality Informationen eingeblendet werden. Derartige Ausbaustufen werden von den heutigen Standards und Regelung noch nicht berücksichtigt. Die fol-

gende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Funktion der einzelnen Generationen. Dabei werden die im Vergleich zu der jeweiligen Vorgängergeneration zusätzlichen Funktionen erwähnt.

**Tabelle 2: Zukünftige KMS Entwicklungsstufen**

<b>Generation 1</b> Spiegeleratz	<b>Generation 2</b> Spie- gellersatz + Fahrerass- sistenzsysteme	<b>Generation 3</b> Spiegeler- satz + Fahrerassistenz- systeme + Virtual Rea- lity
Es wird das entsprechende Sichtfeld dargestellt + Einstelloptionen	Zusätzliche Funktionen: + Objektdetektion / Warnung + Messung von Abständen + Overlays + Image Stitching + Schnittstellen zu weiteren Sensoren	Zusätzliche Funktionen: + Szeneninterpretation und Verhaltensvorhersage + Modellierung des Umfelds + Virtual Reality Visualisierung + Schnittstelle zu live HD 3D Karten
		

## II. INNOVATIONEN IM CONNECTED CAR SZENARIO

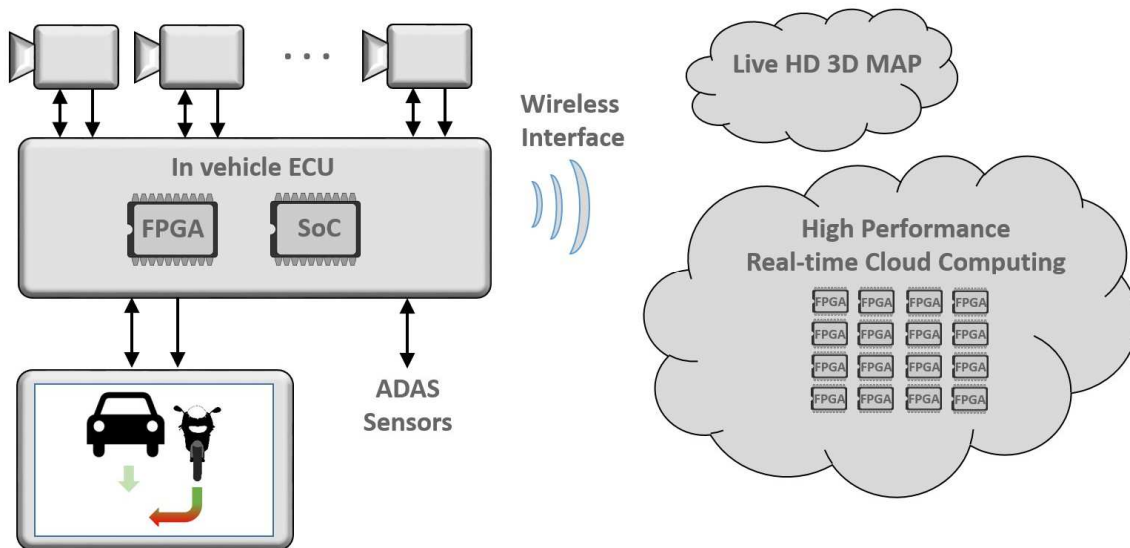
Die einzelnen KMS Generationen, wie in Tabelle 2 dargestellt, stellen unterschiedliche Anforderungen an die Signalverarbeitung und an die Konnektivität. Für die Signalverarbeitung ergeben sich neue Möglichkeiten durch moderne Cloud-Computing Verfahren und bei der Konnektivität wird die 5G Technologie neue Funktionen ermöglichen. Im vorliegenden Beitrag wird für das Connected Car Szenario von einem Fahrzeug ausgegangen, welches über eine Internetverbindung verfügt und mit seiner Umgebung drahtlos kommunizieren kann. Es gibt in der Literatur keine einheitliche Definition für den Begriff Connected Car. Die 5G Technologie soll drahtlose Verbindungen für das Connected Car Szenario ermöglichen, die besonders stabil sind, Datenraten in der Größenordnung von Gbit/s erreichen und Reaktionszeiten in der Größenordnung von ms ermöglichen [5] - [7].

### A. Innovative Architektur mit Cloud-Anbindung

Eine neuartige hybride KMS-Architektur verfügt neben dem lokalen Steuergerät im Fahrzeug auch über eine Cloud-Anbindung. Die Cloud-Anbindung stellt Rechenleistung zur Verfügung, die in entfernten Rechenzentren oder näher am Fahrzeug, als Edge-Computing verarbeitet wird. Rechenintensive Funktionen, wie beispielsweise die Berechnung der Virtual Reality Informationen für ein KMS der Generation 3, werden in die Cloud verlagert. Die Primärfunktionen, also der reine Spiegeleratz, werden weiterhin lokal im Fahrzeug verarbeitet und bereitgestellt. Diese



hybride KMS Architektur mit Cloud- Anbindung wurde erstmals in [4] beschrieben. Für die Cloud-Verarbeitung sollen konfigurierbare FPGAs (Field Programmable Gate Arrays) eingesetzt werden um auch hier ein Höchstmaß an Anpassbarkeit der Verarbeitung zu ermöglichen. Die folgende Abbildung zeigt die hybride KMS Architektur mit Cloud-Anbindung und FPGA-Verarbeitung



**Abbildung 3: Hybride KMS Architektur mit Cloud-Anbindung [4]**

Diese Architektur kann die Stromaufnahme im Fahrzeug relativ gering halten und gleichzeitig eine optimierte Hochleistungs-Signalverarbeitung nutzen. Über den Lebenszyklus des Fahrzeugs können dadurch auch die Funktionen aktualisiert und erweitert werden.

Diese innovative Architektur hat das Potenzial auch für andere Fahrzeugfunktionen eingesetzt zu werden und ein virtuelles anpassbares Hochleistungs-Steuergerät zu ermöglichen.

### **B. Innovative See-Through Funktion**

Das Connected Car Szenario wird für KMS auch eine See-Through Funktion ermöglichen. Unter einer See-Through Funktion versteht man die Nutzung der Kamera-Signale (z.B. die der Frontkamera) eines vorausfahrenden Fahrzeugs und die Visualisierung bzw. Verarbeitung dieser Kamera-Signale im eigenen Fahrzeug [8]. Dadurch erhöht sich das Situationsbewusstsein gerade in kritische Fahrsituationen. Bei KMS können die Kamera-Signale der anderen Fahrzeuge (KMS-Ausstattung vorausgesetzt) genutzt werden, um den Verkehr hinter anderen Fahrzeugen zu sehen. Für eine See-Through Funktion, bei Fahrzeugen mit hohem Automatisierungsgrad, wird in der Literatur eine Datenrate von 700 Mbit/s bei einer maximalen Ende-zu-Ende Reaktionszeit (end-to-end latency) von 10 ms gefordert [9].

## Literaturverzeichnis

- [1] UN Regulation No. 46, Uniform provisions concerning the approval of devices for indirect vision and of motor vehicles with regard to the installation of these devices, Addendum 45 - Regulation No. 46 Revision 6, 2016, Online: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2016/R046r6e.pdf>
- [2] International Organization for Standardization, ISO 16505:2015 Road vehicles - Ergonomic and performance aspects of Camera Monitor Systems - Requirements and test procedures, 2015
- [3] A. Terzis (ed.): „Handbook of Camera Monitor Systems - The Automotive Mirror-Replacement Technology based on ISO 16505“, Series Augmented Vision and Reality, ISBN 978-3-319-29609- 8, 534 pages, Springer International Publishing, 2016
- [4] A. Terzis: „Digital Mirrors – International Regulation and System Design based on hybrid Image Processing“, In Proceedings of the 5<sup>th</sup> AutoSense Conference, Brussels, 2018
- [5] ITU-R. IMT vision - framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. ITU-R M.2083-0, 2015
- [6] Chen, S. and Kang: „A tutorial on 5G and the progress in China“ Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, Volume 19, Issue 3, pp 309–321, Springer Nature, ISSN 2095-9184, 2018
- [7] M. Boban, A. Kousaridas, K. Manolakis, J. Eichinger and W. Xu, "Connected Roads of the Future: Use Cases, Requirements, and Design Considerations for Vehicle-to-Everything Communications," in IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 13, no. 3, pp. 110-123, Sept. 2018
- [8] K. Lee, J. Kim, Y. Park, H. Wang and D. Hong: "Latency of Cellular-Based V2X: Perspectives on TTI-Proportional Latency and TTI-Independent Latency," in IEEE Access, vol. 5, pp. 15800- 15809, 2017
- [9] ETSI: “5G; Service requirements for enhanced V2X scenarios“, 3GPP TS 22.186 version 15.3.0 Release 15, 2018

## Der Autor

**Prof. Dr.-Ing. Anestis Terzis** ist seit 2012 Professor für den Entwurf digitaler Systeme an der Technischen Hochschule Ulm und leitet das Institut für Kommunikationstechnik. Zuvor arbeitete er für ca. zehn Jahre bei der Daimler AG im Bereich Forschung und Vorentwicklung auf dem Gebiet der Fahrerassistenzsysteme. Seine Promotion zum Dr.-Ing. erfolgte am Lehrstuhl für Technische Elektronik an der Universität Erlangen-Nürnberg. Aus seiner bisherigen Arbeit gingen zahlreichen Veröffentlichungen sowie Fachbücher hervor. Er ist aktives Mitglied in internationalen Normungsgremien im Rahmen der ISO, SAE sowie des IEEE und in Programmkomitees von Konferenzen.

# Autonome e-Kleinbusse – Entwicklungsstand und Zulassung

Prof. Manfred Plechaty, Hochschule Neu-Ulm

## Abstract

Wir stehen nicht vor einer, wir stehen vor vier Revolutionen in der Mobilität: autonom, elektrisch, vernetzt und geteilt soll der motorisierte öffentliche und private Verkehr individuelle und gesellschaftliche Bedürfnisse erfüllen. Dabei geht er einher mit einer digitalen Neugestaltung der kompletten Umwelt. Ständige, schnell in den Markt drängende und die Gesellschaft verändernde Innovationen in der Kommunikationstechnik, der Arbeitswelt, der digitalen Hilfen im privaten und öffentlichen Umfeld beeinflussen die gesellschaftlichen Bedürfnisse und Ansprüche erheblich. Bei den technischen Entwicklungen sagen viele, sie kommen schneller als man denkt, aber wie ist das mit den gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen? In einem Projekt zusammen mit der Hochschule Kempten, Kommunen und industriellen Partnern wird der technische Entwicklungsstand von autonomen e-Kleinbussen im Rahmen von externen und internen Entwicklungen laufend untersucht und dokumentiert. Entwicklung, Simulation und Erprobung von bekannten und neuen Szenarien in ländlichen Regionen des Allgäu mit Schwerpunkt öffentliche Nutzung der Fahrzeuge beschreibt die derzeitige Entwicklungstätigkeit. Die nächsten Schritte zur Einbringung neuer Mobilitätsansätze in die Öffentlichkeit betreffen dabei auch die Zulassung von autonomen Fahrzeugen und die neuen Anforderungen die an den Fahrzeugführer gestellt werden. Die Homologation für autonome E-Fahrzeuge ist selbst im VDA Level 3 noch nicht vollständig geklärt. Neue Fahrerassistenzsysteme bringen neue Anforderungen an die vorhandenen Zulassungsbestimmungen mit sich und werden damit neu geregelt. Die Entwicklung eines einheitlich gültigen Homologationsprozesses für VDA Level 4 und 5 steht noch in weiter Ferne. Erste Lösungsansätze zeigt das Forschungsprojekt Pegasus.

## Einleitung

Das Pariser Klimaabkommen legt ambitionierte langfristige Ziele fest, fördert kollektive Maßnahmen und beschleunigt den globalen Wandel hin zu einer kohlenstoffarmen und klimaresistenten Gesellschaft. Die Europäische Kommission und die Mitgliedstaaten haben bereits viele Mobilitätspakete, Anreize und Regelungen auf den Weg gebracht, um einen klaren Weg für umwelt- und klimafreundlichen Verkehr und Mobilität zu eröffnen und auf der Grundlage des Grundsatzes der kollektiven Verantwortung auf eine nachhaltige und tragfähige Europäische Union hinarbeiten.

Um die ehrgeizigen Ziele des Pariser Klimaabkommens und der europäischen Luftqualitätspolitik zu erreichen und die Sicherheit, Gesundheit und Lebensqualität der europäischen BürgerInnen in den Städten und Regionen zu verbessern, bedarf es jedoch noch ambitionierterer Maßnahmen für eine saubere und gesellschaftlich anerkannte Mobilität.

In diesem Bericht zeigen wir eine Möglichkeit auf, die Zukunftsperspektiven und die Strategien zur neuen Mobilität durch die Gestalter, wie z. B. der Kommunen, zu verwirklichen. Schwerpunkt wird dabei der autonome e-Shuttle sein.

In einem ersten Forschungsergebnis werden wir hören, was Fiktion bleibt oder Realität werden könnte. Mit welchen Modellen können wir das Zeitfenster nutzen, dass den Gestaltern wie OEM

mit strategischen Partnern, öffentlichem Verkehr und Politik mit Städten und Kommunen möglicherweise bleibt, z.B. mit einem schnellen Einsatz von autonomen Shuttles in abgegrenzten Gebieten oder auf überwachten Strecken?

Welche Erfahrungen gibt es mit den Zulassungsbehörden, welche neuen Prozesse und Verfahren, Gesetze und Bestimmungen brauchen wir?

## Stand der Technik

Mobilität ist ein Grundbedürfnis. Lebens-, Arbeits- und Freizeitverhältnisse erfordern eine immer höhere Mobilitätsbereitschaft, die durch den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) kaum mehr effizient bedient werden kann und dadurch der Private Personen Nahverkehr (PPNV) an Gewicht gewinnt. Die Bedienung respektive Wiederherstellung dieser individuellen Mobilität für z.B. Schüler, Alte, Kranke, Touristen mit saisonalen Abhängigkeiten erfordert z.B. in ländlichen Räumen ausgeklügelte Konzepte für eine individualisierte Mobilität mit volatiler Bedarfsabhängigkeit. Der demographische Wandel deutet auf eine schnelle Überalterung der Gesellschaft. Das bedeutet, dass einerseits immer mehr Menschen auf eine Hilfe für Mobilität angewiesen sein werden. Andererseits stehen diesem Mehrbedarf an Fahrzeugführern immer weniger Menschen gegenüber, da diese immer stärker ins Arbeitsleben eingebunden werden.

Die Basis für diese Konzepte einer individualisierten Massenmobilität müssen darüber hinaus nachhaltige Maßnahmen für den Klimaschutz umfassen, um die Umwelt als Grundkapital für die nachkommenden Generationen erhalten zu können.

Transporte von Personen und Gütern können heute schon von autonomen Verkehrsmitteln bewältigt werden. In diesem Beitrag soll daher darüber berichtet werden, ob und wie autonome Verkehrsmittel auf der Basis eines Elektroantriebes eine Maßnahme sein können um die oben beschriebene individuelle Massenmobilität mit Individualansprüchen zu ermöglichen.

Bisher treiben die Hersteller von Verkehrsmitteln die Entwicklung neuer Mobilitätsansätze aus technischen Aspekten heraus:

Einerseits werden sogenannte e-Shuttle als elektrische, autonome Systeme entwickelt, die auf 9 Personen - 8 Passagiere und 1 „Überwacher“ (Wiener Konvention) - ausgelegt sind.

Andererseits werden auch e-Busse als elektrische Systeme mit Fahrerassistenzsystemen und Anteilen autonomen Fahrens entwickelt, die für wesentlich mehr als 9 Personen gedacht sind. Oder auch Systeme bei denen sich kleinere e-Module mit weiteren Modulen zu einem großem Massenverkehrsmittel koppeln lassen (NEXT Future Mobility).


Staaten, wie China und USA, haben die Wiener Konvention nicht gezeichnet und daher setzt die Zulassung in diesen Ländern nicht zwingend einen Fahrzeugführer voraus. Das stellt sich nun immer mehr als wesentlicher Wettbewerbsvorteil heraus, welcher Forschung sowie Technologie- und Produktentwicklung in diesen Staaten befördert. So fahren z.B. bereits mehr als 10% der chinesischen Busse elektrisch<sup>1</sup>.

Eine Vorstudie für eine individuelle Massenmobilität in einer ländlichen Region wurde durch das Landratsamt Oberallgäu initiiert, um die Umweltschutzziele 2050 aus dem Masterplan Klimaschutz nachhaltig zu sichern. Der Verkehr hat mit 29% gegenwärtig den größten Anteil an der CO<sub>2</sub> Belastung.

Heute angebotene autonome e-Shuttle kommen vor allem von kleineren Startup unternehmen. Eine laufende Studie zeigt den Status Anfang 2019.

---

<sup>1</sup> Siehe <http://www.sueddeutsche.de/auto/e-fahrzeuge-im-oepnv-pro-elektrobusse-wer-ein-zeichen-setzen-will-steigt-jetzt-um-1.3460626>

Hersteller	Navya	Robosoft	Easy Mile + Conti (Joint venture aus Robosoft und Ligier)	Local Motors / IBM	RWTH Aachen(Joint-Venture mit ZT Friedrichshafen)	VW
Modell	Arma	CityMobil2	Roboshuttle EZ10, RoboTaxi CUBE	Olli	e-go mover	Moia
Link	<a href="http://navya.tech/">http://navya.tech/</a>	<a href="http://www.citymobil2.eu/en/">http://www.citymobil2.eu/en/</a>	<a href="http://easymile.com/technology/">http://easymile.com/technology/</a>	<a href="https://localmotors.com/">https://localmotors.com/</a>	<a href="http://www.ingenieur.de/Themen/Elektronik/Smart/Autonomer-E-Bus-RWTH-Aachen-geht-2018-in-Serie">http://www.ingenieur.de/Themen/Elektronik/Smart/Autonomer-E-Bus-RWTH-Aachen-geht-2018-in-Serie</a>	
Plätze	48, rue René Clair, 75018 Paris, France – Produktion Villeurbanne bei Lyon 11 Sitz, 4 Steh (8 im autom. Betrieb)	EU Partner + Easy Mile 10 Plätze	Frankreich + Beteiligung Conti 6 Sitz, 6 Stehplätze	USA 12 Plätze (7 Sitz, 5 Steh)	D 15 Plätze (9 Sitz- und 6 Stehplätze)	D Wolfsburg 6 Plätze (Shuttle Dienst)
Preis		250.000 €				
Geschw.	20 km/h (45 km/h max)	20km/h	20 km/h (max. 40km/h)	20km/h(max. 40 km/h)		
E-Daten						
Leistung	15 kW			20 kW	150kW	
Speicher	16,5 kWh (offen)		8 kWh	15 kWh	70kWh	
Fahrzeit	5-7 h (10-13h)		14h	58 km	10h	
Ladezeit	3-5h (6h)	2h(12 Batterien)	7h	4,5 h		
Reichweite						
Autonomie						
Lidar	6 (2 Nahfeld, 4 für 100-200m)		x	2 VLP16 von Velodyne, 2 Scala vom IBE0		
Radar				x (Radar + Laser insges. 30)		
Laser		x	x	x		
Kameras	4 Stereo	x von Kontrollstationen überwacht	x	2 ZED		
Vernetzung	GPS	GPS	GPS	GPS		
Straßendaten	in 3D Karten abgelegt	Strecke vorprogrammiert	virtuelle Linie im Boardcomputer gespeichert			
Status				selbstlernend		
Testbetrieb	Sitten, Skon (CH), Salzburg (A); Lyon (F); Perth (Aus); Postbetrieb Wallis CH <a href="https://www.youtube.com/watch?v=wwkxmbBqaYE">https://www.youtube.com/watch?v=wwkxmbBqaYE</a>	Tricala(Greece),San Sebastian, La Rochette, Oristano <a href="https://www.youtube.com/watch?v=xkPRVIGWbQ">https://www.youtube.com/watch?v=xkPRVIGWbQ</a>	Helsinki, Vantaa, Mannheim, Berlin, Leipzig, Bahn Bus in Bad Birnbach, CUBE in Frankfurt <a href="https://vimeo.com/137217228">https://vimeo.com/137217228</a>	Berlin, Washington <a href="https://www.youtube.com/watch?v=9j0E5WYFEI">https://www.youtube.com/watch?v=9j0E5WYFEI</a>		Hannover
video						
Unterlagen						
Förderprojekte		citymobile2				
Sonstiges				mit IBM, GE und Watson	mit Nvidia und ZF	
Bewertung	Derzeit (3/17) höchster Entwicklungsstand (nach eigenen Angaben); Probetrieb in mehreren Projekten, Verkauf größerer Stückzahlen ab 2017 geplant	Vorentwicklungsstadium, Testbetrieb	Testbetrieb	Pilotierung, Testbetrieb	Prototyp erstellt, Ab Sommer 2018 Serieproduktion geplant	Testbetrieb, ab 2018 200 Stück geplant








Hersteller	Bahn (mit EasyMile)	K-Bus GmbH	Nissan	Toyota	Rinspeed	IAV	PARAVAN
Modell	loki	K-Bus	e-NV200 Minivan	e-Palette	Snap		CLOUI
Link							
Plätze	6 Plätze (Zubringerdienst)						
Preis		Solar Range Extender					
Geschw.	15 km/h	Basic; Nissan e-NV200				50 km/h	25km/h
E-Daten							
Leistung							2 Radnabenmotoren 42,5 kW
Speicher							
Fahrzeit							
Ladezeit							10h
Reichweite							
Autonomie						Weitere Daten von Sensorkomponenten und digitalen Kommunikationssystemen auf der Strecke	
Lidar						x	7 Lidaranlagen von Ibeo
Radar						x	3 Ultraschall
Laser							
Kameras							optional
Vernetzung							WiFi und DSRC optional
Straßendaten							
Status							
Testbetrieb	Testbetrieb in Bad Birnbach (vom Bahnhof zur Thermo)					Hamburg - Fern Überwachung über Leitstelle der Hochbahn, die auch Fahrbefehle erteilen kann; 3,6 km Teststrecke, 9 Haltestellen	
video							
Unterlagen							
Förderprojekte							
Sonstiges						Zulassung über REEM Matthias Hartwig	Behindertengerecht
Bewertung	Kooperation mit EasyMile					HEAT Projekt mit Manfred Fuhs, Leiter Mobility Division Siemens	Testbetrieb Fg Bau durch Wolfgang Bern Fon: +49(0)151 46655008 Fax: +49 (0)7388 9995-999 Wolfgang.bern@paravan.de

Abbildung 1: Übersicht autonome e-Shuttle (Stand: April 2019) ©Prof. Plechaty

Zur Homologation bei automatisierten Fahrzeugen sind standardisierte Tests wie bspw. x-NCAP / UN-ECE nur eingeschränkt zur Funktionsvalidierung geeignet. Neue Verfahren sind deshalb im Entstehen (z.B. im Projekt Pegasus)

## Testergebnisse und Simulation

### Testergebnisse zum autonomen Fahren mit e-Shuttle

Der Test wird mit einem vorgegebenen, vergleichbaren Verfahren der Hochschule Neu-Ulm durchgeführt. Dabei werden Dummies und Exponate verwendet. Beispielhaft sei hier auf den Balltest verwiesen. Dabei werden verschiedene Ballgrößen und –farben bei unterschiedlichen Umweltbedingungen (Dämmerung, Nacht, Regen, Nebel, Schneefall ...) und unterschiedlichen Szenarien (Ball fliegt oder rollt über die Straße oder liegt still auf der Straße oder am Straßenrand) bei einem heranfahrenden autonom gesteuerten e-Shuttle getestet.

1. Bahn, ioki, <https://youtu.be/EinMKdvwRto>,
2. Navy, Arma, <http://navya.tech/>
3. Robosoft, CityMobil2, <http://www.citymobil2.eu/en/>
4. Easy Mile, Roboshuttle EZ10, RoboTaxi Cube, <http://easymile.com/technology/>
5. Local Motors, Olli, <https://localmotors.com/>
6. In Planung 2019: RWTH Aachen(Joint-Venture mit ZT Friedrichshafen), e.go mover, <http://www.ingenieur.de/Themen/Elektromobilitaet/Autonomer-E-Bus-RWTH-Aachen-geht-2018-in-Serie>
7. Offen: VW, Moia,

Beispielhaft sei hier der Bahn Bus in Bad Hindelang (Bayern) gezeigt.



©Prof. Plechaty

Abbildung 2: Teststrecke in Bad Hindelang



Abbildung 3: Bahn Shuttle ioki

Bälle rollen in verschiedenen Abständen vor dem e-Shuttle quer über die Straße

Ball	Entfernung zum Bus	Erkennung	Ergebnis
Ø 24 cm Schwarz / Orange	20 m	18 m	Ball überquert die Straße bevor der Bus reagiert, normale Weiterfahrt
Ø 24 cm Schwarz / Orange	10 m	4 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bremsung bis fast zum Stillstand</li> <li>• Weiterfahrt bei freier Fahrbahn</li> </ul>
Ø 24 cm Schwarz / Orange	5 m	3 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollbremsung</li> <li>• Langsame Weiterfahrt bei freier Fahrbahn</li> </ul>

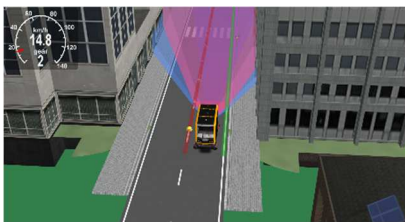
Tabelle 1: Testergebnisse der Bälle bei Bahn Shuttle in Bad Birnbach ©Prof. Plechaty



Aus den Testergebnissen lassen sich Rückschlüsse auf die Sensorik und die hinterlegten Algorithmen ziehen (z.B. rechnet der Bus mit einem Kind, das hinter dem Ball herläuft?)

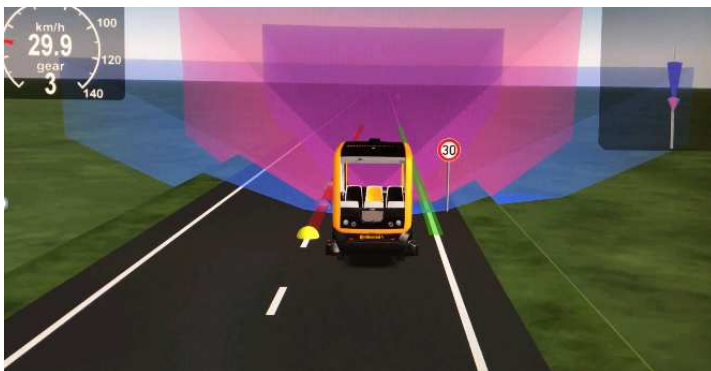
### Simulation und Validierung

Die modellierten Referenzstrecken und elektrischen Kleinbusse wurden gemeinsam mit der Hochschule Kempten virtualisiert, um die technische Machbarkeit zu prüfen. Dazu muss ein hinreichend genaues digitales Modell der Strecken erstellt werden, das insbesondere aufgrund der Talstrukturen auch auf Netzabdeckung erfasst werden muss. Dann können die relevanten Kenn-daten für einen klimaneutralen Betrieb ermittelt werden und in Relation zu Beschaffung der Fahrzeuge und Erweiterung der Infrastruktur gesetzt werden. Die 3D Daten kamen von 3D-Mapping aus Holzkirchen, die Busse wurden in diversen Bachelor- und Masterarbeiten spezifiziert. Die Simulation findet mit CarMaker statt. Dazu wurden alle Standardszenarien lt. StVO abgebildet und die Reaktionen mit variablen Sensoren geprüft.



©Prof. Plechaty

Abbildung 4: Reduzierung der Geschwindigkeit am Fußgängersteifen



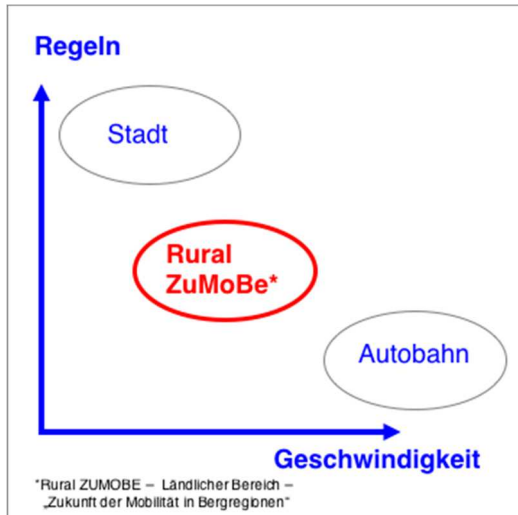
©Prof. Plechaty

Abbildung 5: Erkennen, reduzieren und einhalten der Geschwindigkeitsbegrenzung

Die Simulation aller Standardszenarien, der Sonderszenarien für Busse (Haltestellen, Ein- und Ausstieg, Personen die ein- oder aussteigen wollen ...) und der Sonderszenarien für bestimmte Strecken ermöglichen die Überprüfung von simulierter Hard- und Software, erlauben Verbesserungen mit Vergleich zu alten Ergebnissen und ergeben ein erstes Prüfumfeld für die Homologation.

### Ergebnisse aus dem Projekt ZuMoBe (Zukunft der Mobilität in geschützten Bergtälern) der Hochschule Kempten in Kooperation mit Kommunen und der Hochschule Neu-Ulm

Die Entwicklungen des autonomen Fahrens werden aktuell schwerpunktmäßig erprobt in den Testfeldern Autobahnen, wie z.B. dem digitalen Testfeld A9, mit hohen Geschwindigkeiten und entsprechender hoher Unfallfolgeschwere und vergleichsweise geringer Verkehrskomplexität (eine Fahrtrichtung, keine Kreuzungen, ...) und Stadt, mit geringen Geschwindigkeiten und entsprechender Unfallfolgeschwere und dafür mit vergleichsweise höherer Verkehrsvielfalt (Kreuzungen, Fußgänger, Verkehrsdichte, ...), siehe dazu <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Digitale-Testfelder/Digitale-Testfelder.html> und Abbildung 2.



© Prof. Dr. Schneider Hochschule Kempten

Abbildung 6: Fokus ZuMoBe, Projektpräsentation ZuMoBe

Testfelder vom Typ Land gibt es noch nicht und haben daher ein großes Potential für den Nutznachweis des Einsatzes autonomer Fahrzeuge in ländlicher Umgebung.

Eine wesentliche Herausforderung ist dabei einen gesellschaftlich akzeptierten Ausgleich zwischen sowohl den individuellen Mobilitätsbedürfnissen einer modernen Gesellschaft als auch einer nachhaltigen Entwicklung im ländlichen Bereich zu finden. Die Rolle der Umwelt als Grundkapital ist dabei ein Schlüssel.

### Homologation

Da es bisher noch keine festen Prüfverfahren für die Zulassung von autonomen Fahrzeugen gibt, erfolgt eine situative Prototypenzulassung.

Dazu werden die Simulationsergebnisse, die Validierung am Testfeld und die Realversuche herangezogen. Im realen Einsatz können Situationen ausgelöst durch Fahrerassistenzsysteme (FAS) ohne kritische Nebenbedingungen zu geprüften Ergebnissen führen.

System	Regelung	Zulassungsfähigkeit
Parkassistent / Schlüsselparken	ok	ok
Verkehrszeichenerkennung	--	ok
Automatisches Notbremsen	ok	ok
Stauassistent (Stop&go)	!!!	ok
Spurwechselassistent	!!!	Ausnahme EU
Staufolgefahren	!!!	Ausnahme EU
Valet Parking (fahrerlos)	--	Ausnahme lokal

Tabelle 2: Zulassung von Fahrerassistenzsystemen

copy: TÜV Rheinland 2017

EU	DE
2007/46, Art. 20 (Neue Technologie)	Einzelfz. / Einzelgenehmigung
Typgenehmigung	StVZO / FZV
Zuständig EU-Kommission	Landesbehörden /Bz.-Reg.



Grundlage: Gutachten und Befürwortung	Antrag Fahrzeughalter
Vorschriftenentwicklung in vorgegebener Frist	Grundlage: Gutachten TP/aaS
Vorab zeitlich befristete Ausn.-Geneh. mögl.	Lokale und zeitl. Befristung
Zustimmung MS erforderlich	Versicherungsnachweis

Tabelle 3: Ausnahmeverfahren bei Zulassung von autonomen Fahrzeugen copy: TÜV Rheinland, 2017

## Zusammenfassung

Autonome e-Shuttle entwickeln sich im Zuge der Revolution der Mobilität als eine spezielle Anwendung rasch, vor allem mit startups weiter, auch wenn VW mit dem noch nicht autonom fahrenden Moia jetzt in den Markt einsteigt. Die Entwicklung bis zur Zulassung unterliegt dem Standardprozess der Homologation, welche allerdings für autonome Fahrzeuge und FAS schon ab VDA Level 3 keinem einheitlichen Prozess mehr unterliegt, sondern teilweise länderspezifisch in Einzelzulassungen reguliert wird. Typgenehmigungen werden über EU-Verfahren geregelt und in die Vorschriftenentwicklung eingearbeitet.

Diese neuen und agilen Zulassungsverfahren erschweren die Entwicklung, da Vorgaben oft erst im Rahmen der Homologation erstellt werden und damit u.U. die Zulassung verzögert oder gänzlich verhindert wird.

## Der Autor

**Prof. Manfred Plechaty** forscht und arbeitet seit über 35 Jahren in vielen Bereichen der Mobilität. Dabei war er nach der Ausbildung zum Kfz-Meister und dem Studium der Fahrzeugtechnik an der Hochschule München, bei General Motors in Detroit im Bereich Sicherheitsentwicklung und 25 Jahre bei BMW in der Motorsport-, Antriebs-, Qualitäts- und Gesamtfahrzeugentwicklung tätig. In diesem Zeitraum konnte er alle wesentlichen Bereiche im Vertrieb, der Entwicklung und der Produktion einsehen, in verantwortlichen Positionen mitgestalten und Neuerungen, auch mit vielen Patenten bestätigt, einbringen.

Schwerpunkte waren dabei Konzeption und Vorentwicklung von passiven und aktiven Sicherheitssystemen, Serienentwicklung von konventionellen und variablen Ventiltrieben, Leitungspositionen beim Kühlsystem des Verbrennungsmotors, mit Simulation, Konstruktion und Absicherung der Serienfreigabe im Versuch, der weltweiten Vertriebsqualität und des Wärmemanagements des Gesamtfahrzeuges für alle BMW Modelle. Dabei wurden in diesem Zeitraum in seiner Verantwortung viele Systeme von mechanischen auf elektrischen und damit geregelten Betrieb umgestellt.

Heute forscht und lehrt er an der Fakultät Information Management der Hochschule Neu-Ulm im Studiengang Automotiv und leitet das Forschungsinstitut zur Digitalen Transformation im Bereich Mobilität.

Seine Forschungsschwerpunkte sind die digitale Transformation der KMU, digitale Technologien und autonome Elektrofahrzeuge. Derzeitige Forschungsprojekte unterstützen die KMU im Bereich E-Learning, untersuchen den Reifegrad der digitalen Transformation im süddeutschen Umfeld, forschen an Einsatzbereichen von Mixed Reality, CAVE und 3D Druck Anwendungen für KMU und entwickeln neue Mobilitätsansätze. Neben weiteren Forschungen zum Schnellen und Autonomen finden von Parkplätzen, beschäftigt er sich vor allem mit neuen Ansätzen zur Verbindung von Massen- mit Individualverkehr und Lösungsmodellen zur Reichweitenproblematik von E-Fahrzeugen. Autonome Steuerungen mit C2I sind dabei ebenso Bestandteil der Forschungen wie neue Prozesse bei Homologation und Fahrerverantwortung.

# Kupfer für die Mobilität von Morgen

Dr.- Ing. Tony Noll, Wieland AG

## Einleitung

Die Wieland Gruppe ist mit einem Absatz von ca. 500 Tausend Tonnen der weltweit führende Anbieter von Halbzeugen aus Kupfer und Kupferlegierungen. Für die Herstellung der Bänder, Bleche, Stangen, Drähte, Rohre und Profile werden in den eigenen Gießereien vor allem Recyclingstoffe, ergänzt durch Neumetalle, eingesetzt. Daraus entstehen Halbzeuge für unterschiedlichste Kundenanwendungen, z.B. in Automotive, im Elektronik- und Kälte-Klimabereich, sowie im Maschinenbau.

<https://www.wieland.com/de/>

## Bedeutung von Kupfer für die Mobilität von Morgen

Kupfer spielt bei der Entwicklung neuer klimafreundlicher Antriebskonzepte eine wichtige Rolle. Kupfer ist entscheidend für umweltfreundliche Technologien im Verkehrssektor. Die Elektrifizierung des Straßenverkehrs ist nur mit Kupfer möglich, da es maßgeblich für die Funktion von Elektromotoren und Batteriesystemen ist.

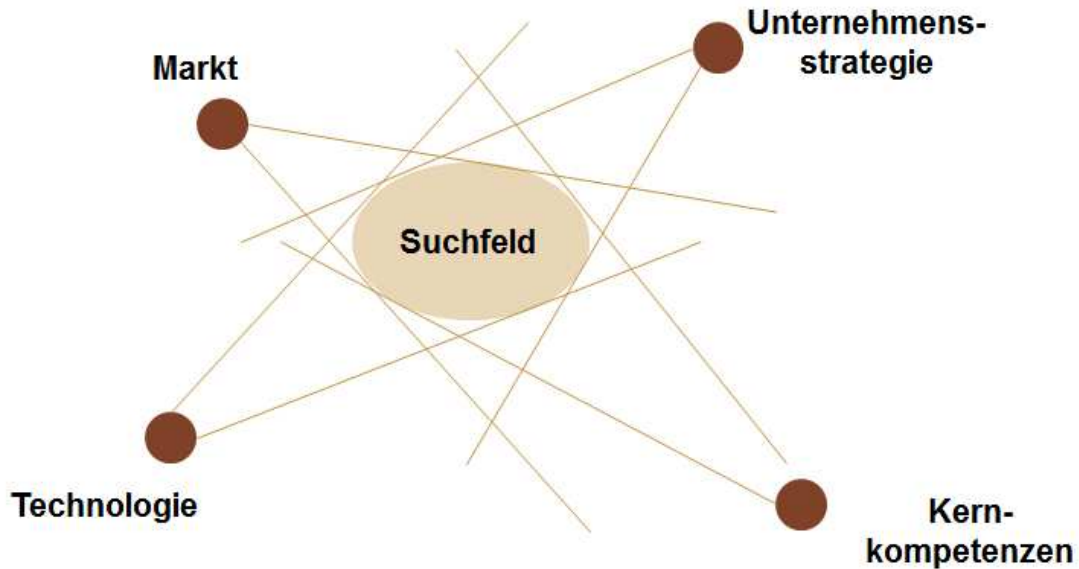
Quelle: <https://metalleproklima.de/das-klima-schuetzen-mit-technologien-die-unsere-mobilitaet-von-morgen-gestalten/>

In der Wieland Gruppe beschäftigt sich die Business Unit „Engineered Products“ aktuell im Zusammenhang mit anwendungsorientierten Kundenprojekte mit einer Vielzahl von konkreten Ansatzpunkten im Bereich eMobility.

Beispiele sind:

- Verschaltungsringe und -komponenten für Statoren in Synchronmotoren
- Hochspannungsteile für die Verbindung zwischen E-Motor und Leistungselektronik
- Kupfer-Rotoren für Hochleistungs- und Hochgeschwindigkeitsinduktionsmotoren
- Kundenspezifische Batterie-Komponenten für die Zell- und BMS-Anbindung
- Laserbeschichtung Hybridmaterial und Nebenschlüsse für Batterie-anwendungen

Diese und andere Ansatzpunkte werden bei Wieland durch die Entwicklung von Suchfelder gezielt aufgebaut. Die folgende Abbildung zeigt den Ansatz zur Identifizierung von Suchfeldern, der aus theoretischen Überlegungen abgeleitet ist.

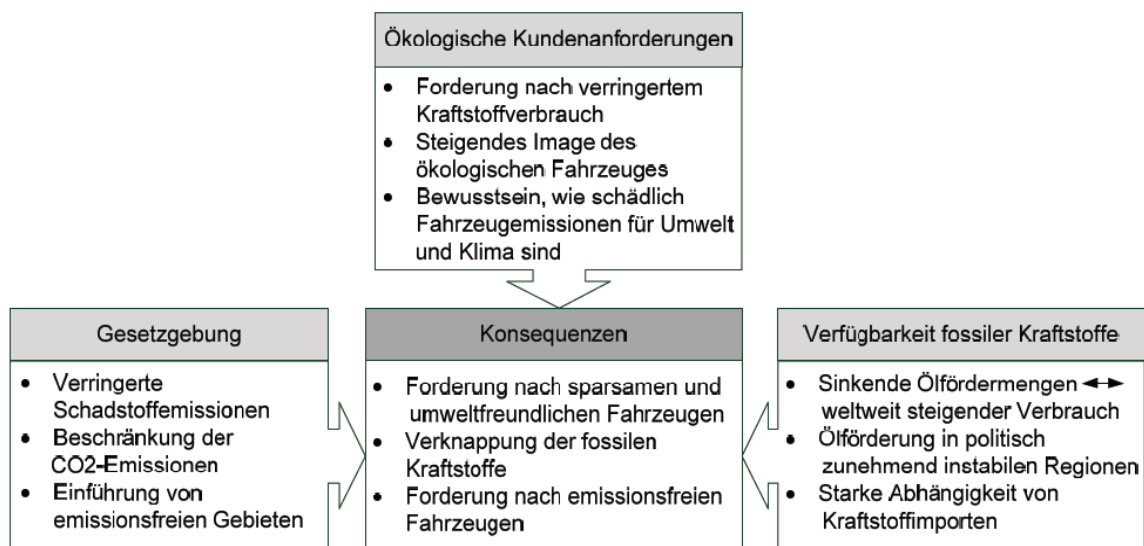


Quelle: Pfund (2013): F&E-Manager. Ausgabe 04 / 2013. S. 24-29.

Abbildung: Definition von Suchfeldern auf Basis von Marktentwicklungen, neuen Technologie-Trends, Kernkompetenzen und Unternehmensstrategie

Treiber für Veränderungen im Bereich der Mobilität von morgen

Für die Entwicklung neuer Trends spielen häufig die Gesetzgebung und Normungen eine wichtige Rolle. Die folgende Abbildung zeigt, dass solche Trends auch zum Beispiel für das Batterie-Thema maßgeblich verantwortlich sind.



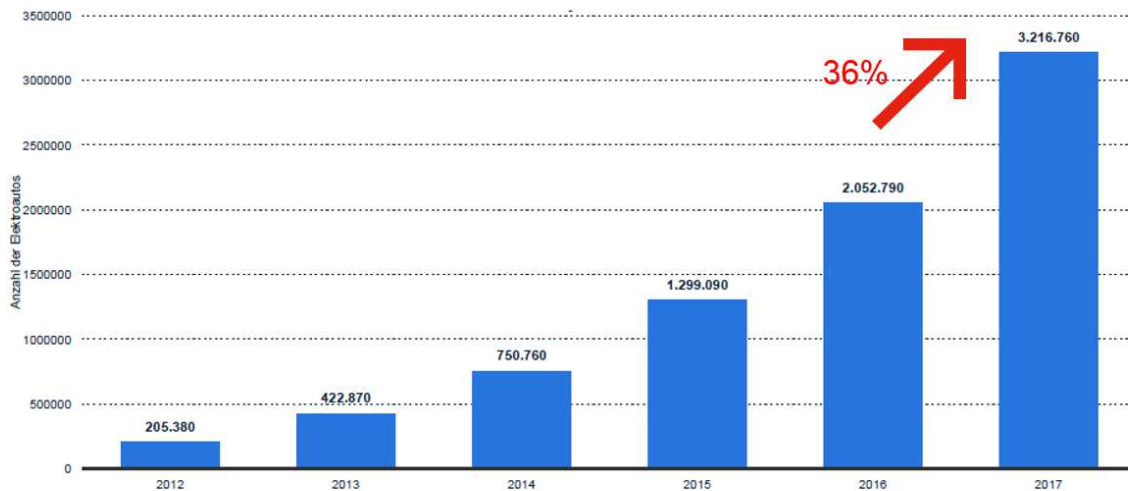
Quelle: Peter Kleine-Möllhoff et. al., Reutlinger Diskussionsbeiträge zu Marketing & Management, Nr. 2012 – 3, Die Batterie als Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität der Zukunft Herausforderungen – Potenziale – Ausblick

Antropogener CO<sub>2</sub>-Austoß, Klimawandel, begrenzte Ressourcen und erneuerbare Energien sind aktuelle Themen, die weltweit den heutigen Alltag begleiten und einen Einfluss auf die Megatrends der Zukunft haben werden. Diese werden unsere Gesellschaft in den nächsten Jahrzehnten signifikant prägen und verändern. Bedingt durch diese Megatrends sowie veränderte Kundenwünsche und die sich weiter verschärfende Gesetzgebung (siehe Abb.) befindet sich auch

die Automobilindustrie in einem Wandel: Der elektrische Antriebsstrang wird dabei eine größere Rolle spielen und die Fahrzeugkonzepte technologisch sowie vom Business-Modell grundlegend verändern.

Die folgende Abbildung zeigt, wie in den letzten Jahren der Bestand an Elektroautos weltweit bereits stark zugenommen hat.

Bestandsentwicklung von Elektroautos weltweit bis 2017



Hinweis(e): Weltweit  
Weitere Angaben zu dieser Statistik, sowie Erläuterungen zu Fußnoten, sind auf [Seite 75](#) zu finden.  
Quelle(n): ZSW; ID: 168320

8

[Überblick](#)

Quelle: destatis.net

Abbildung: Bestandsentwicklung von Elektroautos weltweit bis 2017

Mehrere Experten gehen unabhängig voneinander davon aus, dass die Elektrifizierung des Antriebsstrangs zunächst mit einer Hybridisierung der Fahrzeuge einhergehen wird. Die Branche befindet sich in einem deutlichen Umbruch.

Neue Ansatzpunkte im Bereich der Mobilität von morgen

Durch die Veränderungen ergeben sich neue Chancen und Risiken. Beispiele für neue Handlungsfelder sind:

- Batterie-Zellen
- Montage von Batterien
- Entwicklung v. Batterie Management Systeme (BMS)
- Entwicklung neuer Antriebe und Motoren
- Aufbau von Leistungselektronik
- Antriebsstrang

Die OEMs entscheiden sich zwischen „make“ or „buy“. Gleichzeitig entsteht ein neuer Wettbewerb zur Entwicklung von flexiblen und innovativen Produktionskonzepten.

Quelle: <https://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/elektromobilitaet-herausforderungen-fuer-industrie-und-oeffentliche-hand.pdf>

## Ansatzpunkte im Bereich der Mobilität von morgen von Wieland

Wieland gleicht die neuen Möglichkeiten mit den eigenen Zielvorrichtungen ab und identifiziert damit die Möglichkeiten für das aktive Handeln. Die folgende Auflistung gibt einen Überblick zu verschiedenen Stoßrichtungen, die jeweils zu eigenständigen Roadmaps weiterentwickelt werden.

- Werkstoffe, Verbundwerkstoffe (MMC, PCM)
- Beschichtungen: Flamm-spritzten, Kaltgasspritzten
- Prozess-Technologien, Digitalisierung & Automatisierung, Füge- und Trennverfahren, Rapid Prototyping
- Komponenten und Baugruppen, Hochstromschienen (3D-Biegen), Hochstromkontakte
- Produkte und Anwendungen: Batterien, Brennstoffzellen
- Simulation, Analytik und Test: Simulationstools (Werkstoffe, Tribologie, Wärme)
- Nachhaltigkeit
- Patente, Förderprojekte, M&A
- 

## Kooperationen von Wieland zur Entwicklung von Ansatzpunkten im Bereich der Mobilität

Wieland geht gerne Kooperationen mit Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft ein, um die Ziele von Morgen erfolgreich umzusetzen. Dazu ist auch die Mitarbeit im regionalen Innovationsgeschehen willkommen. Wieland kann bei der Umsetzung mit den Partnern die folgenden Kompetenzen einbringen:

- Expertise in der Konstruktion für eine kostenoptimale und effiziente Serienproduktion
- Design-Entwicklung und Konzeptvalidierung
- Exzellente in-house Werkzeugkonstruktion und Herstellung
- Schnelle Verfügbarkeit von Kupfer-Vormaterialien
- Hohe fachliche Kompetenz in Montageprozessen für Prototypen sowie in der Serienfertigung
- Wirtschaftliche Produktionskonzeptentwicklung für Ihre Serienproduktion und das Ramp-up
- Know-how in der Entwicklung und Produktion von Hochleistungsbeschichtungen (z.B. Firma Wicoatec GmbH, Tochtergesellschaft)
- Verschiedene Füge-technologien am Standort verfügbar, z.B. Laserschweißen und Elektronenstrahlschweißen
- Ausgeprägte Expertise in der Messtechnik und Durchführung von Materialstrukturprüfungen, Hochspannungs- und Druckprüfungen, etc.
- Eigenes technisches Support-Center, z.B. Mikrostruktur-untersuchungen oder Labore für Oberflächenstrukturen

Das Ziel aller Unternehmungen lautet: „Industrialisierung von Ideen für eine intelligente Mobilität von morgen.“

# Vor(her)sehen im Straßenverkehr - Untersuchung antizipatorischer Prozesse in dynamischen Verkehrssituationen

Kristin Mühl, Prof. Dr. Martin Baumann, Universität Ulm

## Abstract

Vorausschauendes Fahren ist eine Grundvoraussetzung für Sicherheit und Komfort im Straßenverkehr. Der Abruf von spezifischen Erfahrungen und Vorwissen, ausgelöst durch verschiedene Reize der Umwelt, ermöglicht es Menschen, zünftige Ereignisse zu antizipieren und somit die eigene Unsicherheit zu reduzieren. Im Rahmen verkehrspsychologischer Laborexperimente wurde dieser Prozess durch die Erfassung verschiedener subjektiver, verhaltensbasierter und physiologischer Parameter untersucht. Verschiedene Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Reizkonstellation, Fahrerfahrung, Kritikalität der Situation oder Beanspruchung des Fahrers, ermöglichen Einblicke in die zugrundeliegenden Mechanismen des menschlichen Situationsverstehens und Antizipierens. Die Daten und Erkenntnisse werden im Rahmen von Anwendungsmöglichkeiten beim automatisierten Fahren diskutiert.

## Einleitung

Die Erhöhung der Verkehrssicherheit gilt bis heute als eines der wichtigen Ziele der Bundesrepublik Deutschland. Im Rahmen des Verkehrssicherheitsprogramms 2011 wird eine Reduktion der Verkehrstoten bis 2020 um 40% angestrebt und die Halbzeitbilanz zeigt eindeutig eine positive Entwicklung (BMVI, 2015). Neben Anpassungen der Infrastruktur und dem technologischen Fortschritt wurde der Fokus auch auf den Faktor Mensch gelegt. Dabei wurden unter anderem Ablenkung und mangelnde Erfahrung im Straßenverkehr als Risikofaktoren identifiziert. Diese reduzieren zudem die Wahrscheinlichkeit vorausschauend zu fahren. Vorhersehen im Straßenverkehr ist jedoch die Voraussetzung für sicheres Fahren sowie für die Vermeidung von Konflikten und Unfällen (Stahl, Donmez, & Jamieson, 2014a). Das Antizipieren von Ereignissen bewirkt eine fokussierte sensorische Verarbeitung der Situation und eine entsprechend spezifische Aktivierung von Handlungswissen (Carlsson, Petrovic, Skare, Petersson, & Ingvar, 2000). Dadurch entsteht mehr Zeit und Raum, um das eigene Fahrverhalten gezielt und adäquat anzupassen (Fitch, Blanco, Morgan, & Wharton, 2010). Zudem ermöglicht Antizipation einen verbesserten Verkehrsfluss und eine ökologischere Fahrweise im Straßenverkehr (Stahl et al., 2014a). Diese Fakten sprechen dafür, den menschlichen Fahrer darin zu bestärken und zu unterstützen, bewusst vorausschauend zu fahren. Mögliche Maßnahmen stellen Trainings (z. B. McDonald, Goodwin, Pradhan, Romoser, & Williams, 2015) sowie Assistenzsysteme (z. B. Stahl, Donmez, & Jamieson, 2016) dar, die die Antizipationsfähigkeit des Fahrers stärken können. Die Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung ist das Wissen über die zugrundeliegenden Prozesse der menschlichen Antizipation in dynamischen Verkehrssituationen und über Faktoren, die diesen Prozess stören oder verbessern. Im Folgenden wird ein Überblick über die theoretischen Grundlagen der Antizipation und verschiedene Paradigmen zur Erfassung von Antizipation dargestellt. Ausgewählte Ergebnisse bezüglich Einflussfaktoren

von Antizipation aus verschiedenen Studien werden diskutiert und insbesondere auch mit Fokus auf die Anwendung im Rahmen des automatisierten Fahrens betrachtet.

## Theoretischer Hintergrund

*Situationsbewusstsein und Antizipation.* Menschen sind nur in der Lage zu antizipieren, wenn sie ein Verständnis der Situation entwickelt haben. Dies wird auch als Situationsbewusstsein bezeichnet (Endsley, 1995) und beinhaltet die Wahrnehmung der einzelnen Elemente der Situation (Level 1), das Verstehen der Zusammenhänge zwischen den Elementen (Level 2) und die Vorhersage des Verhaltens der Elemente (Level 3). Dies dient als Grundlage für die Entscheidungsfindung und das Verhalten in komplexen Situationen (Endsley, 1995). Level 3 kann dabei äquivalent als Antizipation bezeichnet werden und benötigt als Voraussetzung Level 1 und Level 2 des Situationsbewusstseins. Der Aufbau eines Situationsverständnisses ist jedoch ein iterativer Prozess (Endsley, 1995). Zusätzliche, neu wahrgenommene Elemente beeinflussen das Verstehen sowie Antizipieren und dies lenkt wiederum die Aufmerksamkeit des Menschen und verändert somit dessen Wahrnehmung. Es handelt sich demnach um einen zielgerichteten, kognitiven Prozess, der dem Prozess des Textverstehens sehr ähnlich ist (Baumann & Krems, 2007; Durso, Rawson, & Giroto, 2007).

*Antizipation beim Autofahren.* Die Vorhersage des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer dient der Anpassung des eigenen Verhaltens, um sich sicher und komfortabel fortzubewegen. Dies erfolgt nach Stahl und Kollegen (2014a) auf Basis der Identifikation stereotypischer Verkehrssituationen bzw. Manöver (z. B. Überholvorgang nach Annähern an ein langsames Fahrzeug) durch die Wahrnehmung charakteristischer Reize in der Umgebung. Im Rahmen ihrer Studien haben sie szenariospezifische Reize definiert, ohne jedoch eine generell gültige Klassifikation zu benennen. Verschiedene Unterteilungen von Hinweisreizen wurden jedoch in der Forschung zur Antizipation und Gefahrenwahrnehmung im Straßenverkehr vorgenommen (z. B. Crundall et al., 2012; Mühl, Koob, Stoll, & Baumann, 2019). Gefahrenwahrnehmung ist eine der wenigen Fähigkeiten, die mit dem Unfallrisiko korreliert (Horswill & McKenna, 2004) – je besser man in der Lage ist, Gefahren zu erkennen und vorherzusehen, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, an einem Unfall beteiligt zu sein.

*Einflussfaktoren auf Antizipation.* Gefahrenwahrnehmung und Antizipation basieren zum Großteil auf dem Wiedererkennen ähnlicher Situationen. Entsprechend sind Wissen und kontextspezifische Erfahrung entscheidend. Erfahrene Fahrer erkennen und reagieren schneller, wenn sie ein bestimmtes Ereignis antizipieren (Stahl, Donmez, & Jamieson, 2014b), zeigen effektivere visuelle Suchmuster und können gefahrenrelevante Stimuli besser von nichtrelevanten Stimuli diskriminieren (Horswill, Anstey, Hatherly, & Wood, 2010). Dabei spielen auch die Reize aus der Umgebung eine entscheidende Rolle. Diese können sich beispielsweise in der Validität des Signals (Lee & Sheppard, 2016) oder auch in der kognitiven Aktivierungsstärke bezüglich des zu antizipierenden Verhaltens (Mühl et al., 2019) unterscheiden. Die Verarbeitung dieser Reize kann allerdings durch kognitive Beanspruchung gestört werden (Baumann, Petzold, Groenewoud, Hogema, & Krems, 2008; Muhrer & Vollrath, 2011), wobei die einzelnen Elemente gesehen, aber nicht mit dem Vorwissen in ein kohärentes Situationsverständnis integriert werden können. Visuell-manuelle Beanspruchung beim Autofahren führt hingegen dazu, dass einzelne Elemente nicht wahrgenommen werden und daher ein unvollständiges Situationsbewusstsein aufgebaut wird.

(Young, Salmon, & Cornelissen, 2013). Insgesamt kann eine Vielzahl von Faktoren die Antizipation beeinflussen, jedoch ist es wichtig, die zugrundeliegenden Prozesse zu kennen. Dabei ist der methodische Ansatz der Untersuchung ausschlaggebend.

## Paradigmen – Methoden zur Erhebung von Antizipation

Im Rahmen der Untersuchung von Situationsbewusstsein gibt es eine Vielzahl subjektiver und auch objektiver Messmethoden (Überblick in Endsley & Garland, 2000). Ein klassisches Paradigma ist der Gefahrenwahrnehmungstest. Versuchspersonen sehen ein Video eines Fahrszenarios und sollen eine Taste drücken, sobald sie eine Gefahr erkennen (z. B. McKenna & Crick, 1994). Dies kann noch erweitert werden, indem sie erläutern, was als nächstes passieren wird (Jackson, Chapman, & Crundall, 2009). Des Weiteren kann im Rahmen von Fahrsimulatorstudien durch das gezeigte Verhalten geschlussfolgert werden, ob ein Fahrer antizipiert hat oder nicht (z. B. Bremsreaktion wird gezeigt) (Stahl et al., 2014b). Dies ist jedoch nur eine indirekte Messung. Zudem könnte auch bei fehlender Reaktion eine Antizipation erfolgt sein. Zur Untersuchung der zugrundeliegenden Prozesse hat die Forschergruppe um Mühl ein zweistufiges Reaktionsparadigma eingeführt (z. B. Mühl et al., 2019). Bei diesem experimentellen Ansatz sahen die Versuchspersonen ein urbanes Fahrszenario aus Perspektive eines Fahrers und sollten einschätzen, ob ein anderes Fahrzeug auf ihre Spur wechseln wird. Eine erste Reaktion sollte erfolgen, sobald sie eine erste Ahnung haben (unsichere Antizipation) und die zweite Reaktion sollte folgen, wenn sie sich sicher sind, dass ein anderes Fahrzeug auf ihre Spur kommen wird (sichere Antizipation). Dieses Antizipationsintervall (unsichere bis sichere Antizipation) ermöglicht einen tieferen Einblick in die zugrundeliegenden Prozesse als bisherige Studien. Zusätzlich zu diesen objektiven Reaktionsmaßen können auch psychophysiologische Messungen vorgenommen werden. Die Erfassung der Blickbewegungen (z. B. Crundall et al., 2012) ermöglicht Erkenntnisse über die Wahrnehmung und Verarbeitung von Reizen. Die sensorische Erfassung der elektrodermalen Aktivität bietet zusätzlich Rückschlüsse hinsichtlich des Erregungsniveaus, Stress und/oder der Beanspruchung des Fahrers (z. B. Kinnear, Kelly, Stradling, & Thomson, 2013).

## Studienerkenntnisse – Ausgewählte Ergebnisse zu den Einflussfaktoren

*Kognitive Beanspruchung.* Ablenkung beim Fahren erhöht das Unfallrisiko, wobei gezeigt werden konnte, dass insbesondere kognitive Ablenkung den Aufbau einer kohärenten Situationsrepräsentation stört (Baumann et al., 2008; Muhrer & Vollrath, 2011). Bei Studien unter Nutzung des zweistufigen Reaktionsparadigmas konnte darüber hinaus herausgefunden werden, dass vor allem die erste Reaktion (unsichere Antizipation) maßgeblich beeinflusst wird. Eine hohe kognitive Beanspruchung führt zu langsamerer Antizipationsreaktion, jedoch ist die Vorhersage eines einfachen Spurwechsels noch problemlos möglich (Mühl et al., 2019; Mühl, Stoll, & Baumann, 2018). Außerdem hat sich gezeigt, dass Kontextreize (z. B. ein Hinweisschild), die bei geringer Beanspruchung die Antizipationsleistung verbessern, bei hoher Beanspruchung nicht mehr wirkungsvoll sind (Mühl, Stoll, & Baumann, 2018). Die Erkenntnisse legen dar, dass selbst ein sehr einfaches Szenario mit wenigen Verkehrsteilnehmern durch kognitive Beanspruchung beeinträchtigt wird.

*Fahrerfahrung.* Laut bisherigen Befunden sollten erfahrene Fahrer bessere Leistungen in der Antizipation aufweisen als unerfahrene. Im Rahmen einer Studie wurden Novizen, studentische Fahrer, die weniger als 10.000 km im Jahr fahren, mit Experten, fahrenden Rettungssanitätern, die mehr als 50.000 km Wegstrecke im Jahr zurücklegen, verglichen.



Diese sollten besonders gut in der Lage sein, in zeitkritischen Situationen zu antizipieren. Die beiden Gruppen zeigten keinen Unterschied hinsichtlich der Vorhersage eines Spurwechsels. Jedoch reagierten erfahrene Fahrer bzgl. der ersten Vorahnung (unsichere Antizipation) über 1 Sekunde schneller im Vergleich zu unerfahrenen Fahrern (Mühl et al., 2019). Experten antizipieren somit schneller und haben daher mehr Raum und Zeit für sicheres Handeln im Straßenverkehr.

Informationsdichte. Je nach Geschwindigkeit des Fahrzeugs haben Fahrer mehr oder weniger Zeit, relevante Informationen aufzunehmen. Demnach variiert die Informationsdichte. Dies könnte Einfluss auf die Beanspruchung, aber auch auf die subjektive Kritikalität der Situation haben. Es konnte gezeigt werden, dass schnelleres Fahren und somit eine höhere Informationsdichte die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Antizipationsreaktion verringert (weniger Angaben, dass ein Spurwechsel antizipiert wird) und die elektrodermale Aktivität, d. h. das Erregungsniveau, erhöht (Mühl, Vogt, & Baumann, 2019). Entsprechend beeinflussen auch situative Faktoren den Prozess der Antizipation.

## Fazit und Anwendungsmöglichkeiten beim automatisierten Fahren

Die Ergebnisse der Studien geben einen Einblick in die Komplexität der Prozesse und Vielfältigkeit der Einflussfaktoren beim menschlichen Aufbau eines Situationsverständnisses. Die Befunde decken sich mit bisherigen Erkenntnissen, auch wenn das genutzte Szenario (Vorhersage, ob ein anderes Fahrzeug auf die eigene Spur kommt) wenig komplex und experimentalpsychologisch sehr kontrolliert gehalten wurde. Jedoch ermöglichte das zweistufige Paradigma und der Einsatz psychophysiologischer Maße zusätzlichen Informationsgewinn gegenüber bisheriger Forschung. Die Validität dieser Experimente ist als eingeschränkt zu betrachten, jedoch vergleichbar mit dem sehr anerkannten Paradigma des Gefahrenwahrnehmungstests.

Die Erkenntnisse dieser Studien können nicht nur im Rahmen des manuellen Fahrens, sondern auch im Kontext automatisierter Fahrzeuge Anwendung finden. Solange der Mensch noch die Funktion des Ausführenden oder Überwachenden besitzt, entsprechend der SAE Level 1 bis Level 3 (SAE, 2016), ist es auch wichtig, dass er in der Lage ist, ein Verständnis der Situation aufzubauen und ihre Entwicklung vorherzusehen. Es ist sogar noch komplexer, denn nicht nur das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer muss erkannt und antizipiert werden, sondern auch das Verhalten des automatisierten Systems. Es gibt verschiedene Beispiele für Assistenzsysteme, die den Fahrer beim Antizipieren unterstützen (Popiv, Rakic, Bengler, Bubb, & Nestler, 2009; Stahl et al., 2016). Die Forschergruppe um Stahl vergleicht beispielsweise ein Interface, welches die Aufmerksamkeit auf Elemente in der Fahrsituation lenkt, die für die Antizipation relevant sind (z.B. Annäherung an einen langsam fahrenden LKW) mit einem Interface, das zusätzlich die Interpretation der Bedeutung der Elemente aufzeigt. Dabei konnten insbesondere unerfahrene Fahrer von dem Interface mit Interpretation profitieren (Stahl et al., 2016).

Entsprechend ist es notwendig, diese Systeme adaptiv zu gestalten, d. h. sie an die Charakteristiken des Fahrers (z. B. Erfahrung), den Fahrerzustand (z. B. kognitive Beanspruchung) und den situativen Faktoren (z. B. Geschwindigkeit) anzupassen. Bisherige Forschung dazu ist jedoch kaum auf Basis psychologischer Erkenntnisse der Antizipation des Menschen fundiert. Es bedarf weiterer Forschung, um das Situationsverständnis und die Antizipation in dynamischen und komplexen Mensch-Maschine Schnittstellen zu integrieren und zu optimieren.

## Literatur

- Baumann, M., & Krems, J. F. (2007). Situation Awareness and Driving: A Cognitive Model. In P. C. Cacciabue (Ed.), *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments. Critical Issues in Driver Interactions with Intelligent Transport Systems*. London: Springer.
- Baumann, M., Petzold, T., Groenewoud, C., Hogema, J., & Krems, J. F. (2008). Working memory processes as the cognitive basis of driver's situation awareness. In *4th International Conference on Traffic & Transport Psychology*. Washington, D.C.
- BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015). *Halbzeitbilanz des Verkehrssicherheitsprogramms 2011-2020*. Berlin. Retrieved from: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StV/halbzeitbilanz-verkehrssicherheitsprogramm.pdf?blob=publicationFile>
- Carlsson, K., Petrovic, P., Skare, S., Petersson, K. M., & Ingvar, M. (2000). Tickling expectations: neural processing in anticipation of a sensory stimulus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(4), 691–703. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10936920>
- Crundall, D., Chapman, P., Trawley, S., Collins, L., van Loon, E., Andrews, B., & Underwood, G. (2012). Some hazards are more attractive than others: Drivers of varying experience respond differently to different types of hazard. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 600–609. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.09.049>
- Durso, F. T., Rawson, K. A., & Giroto, S. (2007). Comprehension and Situation Awareness. In F. T. Durso, R. S. Nickerson, S. T. Dumais, S. Lewandowsky, & T. J. Perfect (Eds.), *Handbook of Applied Cognition* (2nd ed., pp. 163–193). Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470713181.ch7>
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- Endsley, M. R., & Garland, D. J. (2000). *Situation awareness : analysis and measurement*. L. Erlbaum Associates.
- Fitch, G. M., Blanco, M., Morgan, J. F., & Wharton, A. E. (2010). Driver Braking Performance to Surprise and Expected Events. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54(24), 2075–2080. <https://doi.org/10.1177/154193121005402412>
- Horswill, M. S., Anstey, K. J., Hatherly, C. G., & Wood, J. M. (2010). The crash involvement of older drivers is associated with their hazard perception latencies. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(5), 939–944. <https://doi.org/10.1017/S135561771000055X>
- Horswill, M. S., & McKenna, F. P. (2004). Drivers' Hazard Perception Ability: Situation Awareness on the Road. In S. Banbury & S. Tremblay (Eds.), *A Cognitive approach to situation awareness : theory and application* (pp. 155–175). Aldershot: Ashgate Publishing.
- Jackson, L., Chapman, P., & Crundall, D. (2009). What happens next? Predicting other road users' behaviour as a function of driving experience and processing time. *Ergonomics*, 52(2), 154–164. <https://doi.org/10.1080/00140130802030714>
- Kinnear, N., Kelly, S. W., Stradling, S., & Thomson, J. (2013). Understanding how drivers learn to anticipate risk on the road: A laboratory experiment of affective anticipation of road hazards. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1025–1033. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2012.08.008>
- Lee, Y. M., & Sheppard, E. (2016). The effect of motion and signalling on drivers' ability to predict intentions of other road users. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 202–208. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2016.07.011>
- McDonald, C. C., Goodwin, A. H., Pradhan, A. K., Romoser, M. R. E., & Williams, A. F. (2015). A

- Review of Hazard Anticipation Training Programs for Young Drivers. *The Journal of Adolescent Health : Official Publication of the Society for Adolescent Medicine*, 57, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2015.02.013>
- McKenna, F. P., & Crick, J. L. (1994). *Hazard perception in drivers: A methodology for testing and training. TRL Contractor Report.*
- Mühl, K., Koob, V., Stoll, T., & Baumann, M. (2019). Driving with Foresight – Evaluating the Effect of Cognitive Distraction and Experience on Anticipating Events in Traffic. In *10th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*. Santa Fe, New Mexico.
- Mühl, K., Stoll, T., & Baumann, M. (2018). Look ahead - understanding cognitive anticipatory processes based on characteristic cues in dynamic traffic situations. *Manuscript Submitted for Publication.*
- Mühl, K., Vogt, A., Baumann, M. (2019). Reducing Uncertainty by Anticipation in Traffic - the Effect of Situational Criticality and Anticipatory Cues on Psychophysiological Indicators. *Manuscript in Preparation.*
- Muhrer, E., & Vollrath, M. (2011). The effect of visual and cognitive distraction on driver's anticipation in a simulated car following scenario. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(6), 555–566. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2011.06.003>
- Popiv, D., Rakic, M., Bengler, K., Bubb, H., & Nestler, S. (2009). Timing Concept for Assistance of Anticipatory Driving. In *Proceedings of the 17th World Congress on Ergonomics (IEA 2009)*. Peking, China.
- SAE. (2016). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles: J3016\_201609.*
- Stahl, P., Donmez, B., & Jamieson, G. A. (2014a). A Model of Anticipation in Driving. In *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '14* (pp. 1–8). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2667317.2667321>
- Stahl, P., Donmez, B., & Jamieson, G. A. (2014b). Anticipation in Driving: The Role of Experience in the Efficacy of Pre-event Conflict Cues. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 44(5), 603–613. <https://doi.org/10.1109/THMS.2014.2325558>
- Stahl, P., Donmez, B., & Jamieson, G. A. (2016). Supporting anticipation in driving through attentional and interpretational in-vehicle displays. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.02.030>
- Young, K. L., Salmon, P. M., & Cornelissen, M. (2013). Missing links? The effects of distraction on driver situation awareness. *Safety Science*, 56, 36–43. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2012.11.004>

## Autorin und Autor

**Kristin Mühl** studierte Psychologie an der TU Chemnitz und absolvierte ihren Masterabschluss im Bereich Human Factors an der TU Berlin. Seit 2014 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Human Factors an der Universität Ulm. Im Rahmen ihrer Forschung untersucht sie kognitive und physiologische Prozesse von Antizipation in dynamischen Verkehrssituationen und beschäftigt sich zudem in verschiedenen Projekten mit der Gestaltung hochautomatisierter, kooperativer Fahrerassistenz.

**Prof. Dr. Martin Baumann** ist seit 2014 Professor für Human Factors im Institut für Psychologie und Pädagogik an der Universität Ulm. Als promovierter Kognitionspsychologe leitete er zuvor zwei Gruppen am Institut für Verkehrssystemtechnik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Sein Forschungsfokus liegt auf den psychologischen Grundlagen menschlichen Verhaltens in der Mensch-Maschine-Interaktion (u. a. Situationsverstehen, kognitive Beanspruchung) sowie der Gestaltung und Bewertung von Interaktionskonzepten in der kooperativen, adaptiven Fahrer-Fahrzeug- und Mensch-Roboter-Interaktion.

# Transfer neu gedacht: Regionale Innovationspotentiale nutzen

Dr. Thomas Aigle; Dr. Julia Kipper-Albertini, InnoSÜD;  
Prof. Dr. Marianne von Schwerin, Technische Hochschule Ulm

## Abstract

Wie entstehen aus der Wissenschaft und dem Know-how aus der Wirtschaft zukunftsfähige innovative Ideen? Und wie können aus der Gesellschaft, Politik und Wirtschaft Erfahrungen und Bedürfnisse in die Forschung einfließen? Wie können diese vier Gruppen – Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft - zusammenarbeiten, um für wichtige Zukunftsfragen gemeinsame Lösungen zu erarbeiten? Um diese Fragen geht es beim Verbundprojekt InnoSÜD, das das Ziel verfolgt, die Innovationskraft in der Region Donau-Iller-Riß zwischen den Metropolen Stuttgart und München zu stärken.

Vier Hochschulen in zwei Bundesländern – Hochschule Biberach, Hochschule Neu-Ulm, Technische Hochschule Ulm und Universität Ulm – haben sich im Verbund InnoSÜD zusammengeschlossen. Eine gemeinsame Transferagentur bildet die zentrale Anlaufstelle für die beteiligten Hochschulen sowie für Unternehmen und Gesellschaft. Thematisch liegt der Fokus auf vier Themenfeldern: Energie, Gesundheit & Biotechnologie, Mobilität und Transformationsmanagement. Gelebt wird der Transfer unter Einsatz von neun innovativen Transferformaten, die sich auf drei Ebenen abspielen: personenorientiert (z.B. im direkten Austausch im Rahmen von Innovationszirkeln oder Trialogen), digital (z.B. durch Open Source-Software oder Plattformen) und physisch (z.B. in Open Labs oder Reallaboren).

Gefördert wird das Projekt vom BMBF und dem Land Baden-Württemberg im Rahmen der Bundesländer-Initiative „Innovative Hochschule“.



## Einleitung: Megatrends bestimmen das 21. Jahrhundert

Unsere Gesellschaft wandelt sich schneller denn je; Globalisierung, Urbanisierung und Digitalisierung sind dabei die großen Megatrends. Die Weltbevölkerung wächst nach wie vor exponentiell und hat inzwischen 7,6 Milliarden (Ende 2018) Menschen erreicht. Ebenso steigt auch unsere Lebenserwartung stetig an. So gehen Forscher des Max-Planck-Instituts davon aus, dass Neugeborene in Deutschland im Schnitt 90 Jahre alt werden (Zeit 2019). Immer mehr Menschen teilen sich also eine Erde und rücken in Megacities, vor allen in Asien, immer dichter zusammen. Dabei ist nahezu jeder mit jedem weltweit digital vernetzt. Klimawandel, Smog und Verkehrschaos sind spürbare Folgen.

Es bedarf offenbar tragfähiger Lösungen in Form von Innovationen, um die skizzierten Herausforderungen im 21. Jahrhundert zu bewältigen. Im Unterschied zu den sogenannten inkrementellen Innovationen spielen dabei die sogenannten radikalen Innovationen eine entscheidende Rolle. Sie wirken nicht nur inkrementell und im Kleinen, sondern verlassen die etablierten Technologiepfade der kontinuierlichen Weiterentwicklung und brechen ganze Wertschöpfungsketten auf. Noch etwas weiter geht der Begriff der disruptiven Innovation (Christensen 1997). Dieser stellt noch stärker die Attraktivität eines neuen Produktes am Markt verbunden mit einem höheren Kundennutzen im Vergleich zu existierenden Lösungen in den Vordergrund. Einen solchen disruptiv-radikalen Wandel stellt beispielsweise der Ersatz des Verbrennungsmotors durch einen Elektroantrieb mittels Batterie oder die Brennstoffzellentechnologie in der Automobilindustrie dar. Innovationen in Form von neuen Technologien und der Aufbau von neuen Märkten erfordern dabei eine breite Akzeptanz und Konsens zwischen den Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. Diese muss global im Großen und lokal in den Kommunen erreicht werden, und letztendlich auch beim Verbraucher und seinem Verhalten ankommen.

Aus Bundessicht sind insbesondere Vernetzung und Transfer wichtige Zukunftsaufgaben. So formuliert das BMBF im Bundesforschungsbericht 2018 (*Bundesbericht Forschung und Innovation 2018*): „Die Kooperationsstärke von Unternehmen wird zunehmend zur Wettbewerbsstärke. Ziel der Bundesregierung ist die Stärkung des wechselseitigen Ideen-, Wissens- und Technologietransfers zwischen Unternehmen, Hochschulen [...] und weiteren Akteuren aus der Gesellschaft.“ Eine Maßnahme zur Umsetzung dieser Strategie ist die Bund-Länder-Förderinitiative „Innovative Hochschule“. Die Initiative unterstützt die Verankerung der Hochschulen in der Region und stärkt somit deren strategische Rolle als Innovationsmotor in ihrem Umfeld. Die Wege von der Forschung in den Markt oder in die gesellschaftliche Anwendung sollen künftig noch kürzer und erfolgreicher werden. Das hier vorgestellte Projekt InnoSÜD ist ein Förderprojekt innerhalb dieser Initiative.

Die Autoren zeigen im Folgenden auf, wie anhand des Transferprojektes InnoSÜD auf lokaler Ebene in der Region Donau-Iller-Riss Innovationsprozesse gestaltet werden können, so dass neue Ideen für Innovation partnerschaftlich vorangetrieben werden und dabei lokale gesellschaftsrelevante Fragestellungen aufgegriffen werden. Neun neuartige Transferformate in Kombination mit multi-direktional angelegten Innovationsprozessen in vier technologischen Zukunftsfeldern, meist geprägt durch disruptive Technologieentwicklung, spielen dabei eine Schlüsselrolle.

## Neue Transferformate als Schlüsselement für Innovation

Über das Transferprojekt InnoSÜD werden klassische Instrumente des Wissens- und Technologietransfers um neue Transferformate ergänzt. Gemeinhin stellt Technologietransfer eine interorganisationale Übertragung von Technologien oder die Übertragung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen (Dicht / Ossing 1984) dar. Unter dem Begriff Wissen bzw. Transfer von Wissen versteht der Wissenschaftsrat in einem Positionspapier (WR 2016) „die Gesamtheit wissenschaftlich erarbeiteter Erkenntnisse“. Übliche Transfermethoden sind z.B. Auftragsforschung, Beratungsdienstleistungen, Lizenzvergabe oder Ausgründungen. Mit diesen Methoden und dem daraus resultierenden Transferverständnis steht stark die Übertragung von Wissen und Technologien von der Wissenschaft hinein in eine andere Organisation, i.d.R. die Wirtschaft, im Fokus.

Über die neuen Transferformate aus InnoSÜD soll der „klassische“ unidirektionale Technologietransfer (WR 2007, 15) von der Erfindung, der Invention, in die Wirtschaft als Innovation aufgebrochen und auf eine diversere und modernere Basis gestellt werden. Das Vorgehen zeichnet sich durch zwei wesentliche Aspekte aus:

Zum einen findet ein Abgleich mit den gesellschaftlichen Anforderungen statt. Die Frage, inwieweit die getätigten F&E-Anstrengungen von Wirtschaft und Wissenschaft dienlich für die Gesellschaft sind, wird gestellt und diskutiert. Im Projekt InnoSÜD erfolgt z.B. ein Abgleich von Forschungsthemen über die Mitarbeit in regionalen Innovationsausschüssen und Arbeitskreisen. Transferformate wie Innovationszirkel oder Trialoge binden die Kommunen und gesellschaftliche Akteure mit ein.

Zum anderen wird versucht, die bisher sequentiell und meist linear ablaufenden Innovationsprozesse aufzubrechen. Dabei geht es vor allem darum, frühzeitig Innovationspartnerschaften zu formen, um Forschungsfragen kooperativ im Diskurs zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft zu stellen und innovative Lösungsideen zu entwickeln.

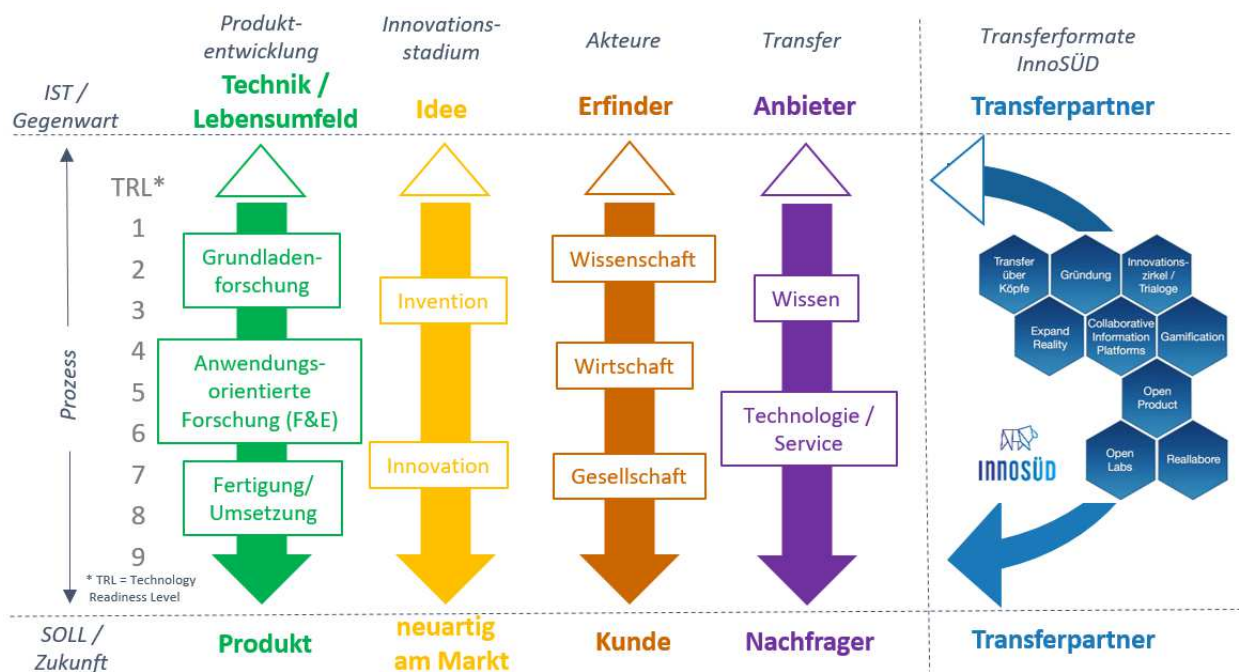


Abb. 1: Steigerung der Innovationskraft durch ein multi-direktionales Innovationsverständnis (eigene Darstellung)

Abbildung 1 stellt schematisch den Transfer unter 4 unterschiedlichen Aspekten dar. Dies sind der Aspekt der Produktentwicklung (von der Technik oder dem Lebensumfeld zum Produkt), der Aspekt der Innovation (von der Idee zum Markt), den der beteiligten Akteure im Transferprozess (vom Erfinder zum Kunden) sowie den Transfer von Wissen und Technologie bzw. Service (Anbieter zum Nachfrager). Grundsätzlich geht es bei einem Innovationsprozess darum, die Idee (technisches oder Dienstleistungsprodukt) eines Erfinders („Ist-Zustand“) zu einem neuartigen Produkt auf dem Markt zu transferieren („Soll-Zustand“). Das TRL (Technology-Readiness-Level) beschreibt dabei den Reifegrad einer Technologie und reicht vom Funktionsprinzip in Level 1 bis zum kommerziellen Einsatz des fertigen Produktes oder Services. Der Transfer geht dabei oftmals unidirektional von der Wissenschaft in die Wirtschaft. Die Einbindung der Gesellschaft, z.B. in Form von Pilotkunden, erfolgt meist erst in einem späten Stadium der Produktentwicklung. Auch die gesamte gesellschaftliche Akzeptanz sollte frühzeitig bewertet werden.

Über die Transferformate in InnoSÜD werden die oftmals unidirektional ablaufenden Prozesse aufgebrochen, um frühzeitig den Dialog der Akteure anzustoßen. Dadurch können der „Soll-Zustand“ und der „Ist-Zustand“ sich möglichst früh gegenseitig implizieren, so dass z.B. der Zielmarkt und der Kunde auf die Produktentwicklung Einfluss haben. Auch Forschungsfragen werden partnerschaftlich zwischen Wirtschaft und Wissenschaft unter Einbindung der Gesellschaft definiert und münden im Idealfall in transferorientierten und kooperativen Forschungsprojekten.

## Die InnoSÜD Idee

Im Rahmen der Initiative „Innovative Hochschule“ haben sich die Hochschulen Biberach und Neu-Ulm, die Technische Hochschule Ulm und die Universität Ulm zum Forschungs- und Transferverbund InnoSÜD zusammengeschlossen. Gemeinsam schaffen sie ein dynamisches Innovationssystem, das die Region Donau-Iller-Riß als Bindeglied zwischen den Metropolregionen Stuttgart und München mittelfristig unter den wettbewerbs- und innovationsfähigsten Räumen Europas positionieren soll.

InnoSÜD zeichnet sich aus durch:

- **Vier Hochschulen** (1 Universität + 3 HAW, länderübergreifend)
- **Eine zentrale Koordinierungsstelle** (Transferagentur)
- **Multi-direktionaler Austausch** und stärkere Vernetzung zwischen **Gesellschaft, Wissenschaft** und **Wirtschaft**.
- **Neun innovative Transferformate**
- angewandt in vier **Zukunftsbereichen**:  
**Energie, Gesundheit & Biotechnologie, Mobilität, Transformationsmanagement**

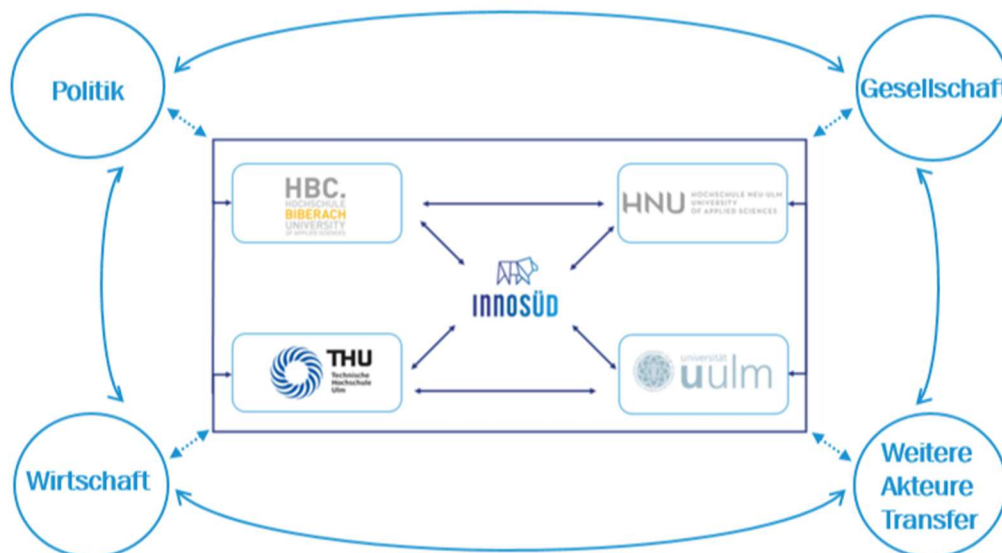


Abb. 2: Wirkungsfeld InnoSÜD (eigene Darstellung)

Die Stärke von InnoSÜD liegt in seiner Struktur als Verbund, die es erlaubt, die gesamte Wertschöpfungskette abzudecken: Von der universitären Grundlagenforschung über die anwen-



dungsorientierte Forschung der Hochschulen für angewandte Wissenschaften bis hin zu vorwettbewerblichen Kooperationen mit Unternehmen aus der Region. Schlüssel dazu sind die Vernetzung von wissenschaftlicher Expertise innerhalb des Verbundes und in der Region sowie der Wissenstransfer über neun innovative Transferformate in vier Themenfeldern. Der Austausch findet dabei in beide Richtungen statt. Die Verbundhochschulen bringen ihre Methodiken, ihren fachlichen Überblick und ihre Kreativität ein, die Partner aus der Region ihre Ideen, ihr Know-how, ihre Erfahrungen und Bedürfnisse.

Die besondere Konstellation der Hochschulen in der Region ermöglicht es, ein umfassendes Innovationssystem zu bilden. Die Ausrichtungen der Hochschulen ergänzen sich und bilden so ein umfassendes fachliches Potential. Durch Überlappungen in einigen Bereichen ist bereits jahrelange Zusammenarbeit in einzelnen Disziplinen gewachsen, die nun interdisziplinär ausgebaut und erweitert werden kann. Das Einbeziehen der Universität gewährleistet den Bezug zur Grundlagenforschung, die anwendungsorientierte Forschung und der traditionelle Transferbezug der Hochschulen eröffnen eine ideale Schnittstelle für die Unternehmen, Städte und gesellschaftlichen Einrichtungen der Region. Bei den eingesetzten Methoden werden sowohl naturwissenschaftliche Vorgehensweisen wie auch ingenieurtechnisches Entwickeln oder betriebswirtschaftliche Praktiken miteinander kombiniert – gemäß den Ausrichtungen der beteiligten Hochschulen. Diese Konstellation bietet einen optimalen Nährboden für ein Innovationssystem.

Im Prognos Zukunftsatlas 2016, der sich mit den Zukunftschancen von 402 Stadt- und Landkreisen in Deutschland befasst, belegen die Städte Ulm und Biberach die Plätze 17 und 62. Die weiteren Landkreise der Region sind mit Plätzen im oberen Drittel aussichtsreich positioniert (Prognos, 2016). Entlang der sog. „Technologie-Achse Süd“ wird deutlich mehr als ein Siebtel der deutschen Bruttowertschöpfung erwirtschaftet (15%). Das ist signifikant höher als der Bevölkerungsanteil in diesem Gebiet (12%) (Prognos, 2016). Insgesamt ist die IHK-Region Ulm nach dem Innovationsindex des Statistischen Landesamtes eine der innovativsten Regionen in Baden-Württemberg (Einwiller, 2017). Das zeigt eine Dynamik und Innovationsfreudigkeit, die über InnoSÜD aktiv weiterentwickelt wird, damit die Region auch zukünftig eine Spitzenposition in der globalisierten Welt einnehmen kann.

So wurden aus den für die Region relevanten Unternehmensfeldern und passend zur fachlichen Ausrichtung der Verbundhochschulen für InnoSÜD die Zukunftsfelder Energie, Mobilität, Gesundheit & Biotechnologie sowie Transformationsmanagement ausgewählt und in einzelnen Teilprojekten (Maßnahmen) konkrete Zukunftsfragen adressiert. Die Teilprojekte befassen sich z.B. mit neuen Mobilitätskonzepten in Ulm, mit automatisiertem Fahren, mit dem praktischen Einsatz neuer Batterietechnologien, neuen Therapieansätzen und verbesserten Prozessen im Bereich Gesundheit & Biotechnologie oder mit Themen rund um Digitalisierung und damit einhergehende Veränderungen für Arbeitswelt, Geschäftsmodelle, Produktions- und Vertriebsbedingungen. Die insgesamt 28 Teilprojekte kooperieren mit Unternehmen, öffentlichen Einrichtungen, lokalen Akteuren, Multiplikatoren sowie Bürgern in der Region.



ENERGIE



GESUNDHEIT &  
BIOTECHNOLOGIE



MOBILITÄT



TRANSFORMATIONS-  
MANAGEMENT

Abb. 3: die vier Themenfelder in InnoSÜD (in Anlehnung an Transferstrategie des Hochschulverbundes InnoSÜD)  
Transferformate in InnoSÜD

Mit der Umsetzung der Maßnahmen werden die dem Projekt zu Grunde liegenden Transferformate eingesetzt, evaluiert und weiterentwickelt. Ziel ist ein ausgereiftes Instrumentarium von modernen transferunterstützenden Methodiken das seinen Erfolg über die InnoSÜD Maßnahmen nachweist und das einen festen Platz in zukünftigen Transferprojekten erhält.

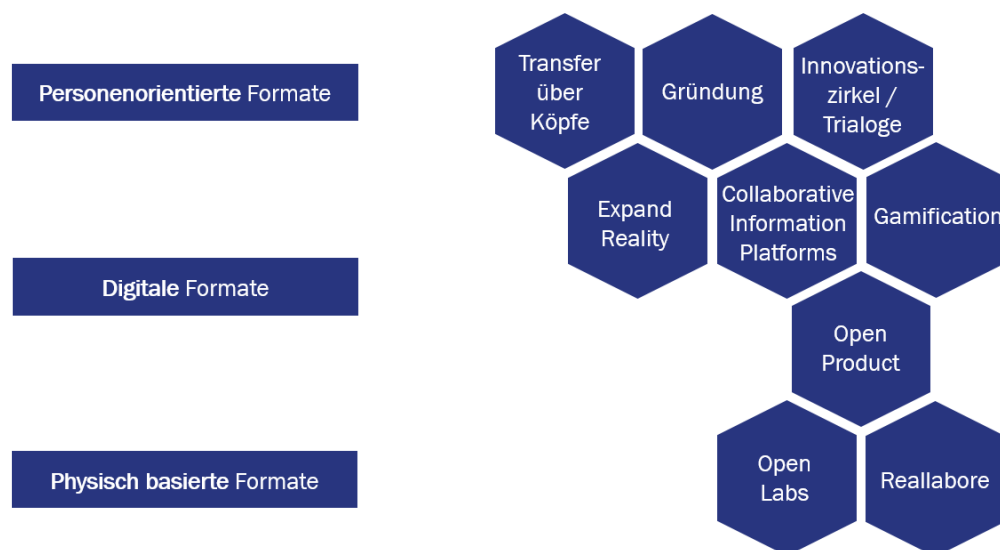


Abb. 4: Transferformate in InnoSÜD (Transferstrategie des Hochschulverbundes InnoSÜD)

Das Portfolio (vgl. Abb. 4) der Transferformate umfasst personenorientierte Aktivitäten genauso wie digitale Formate - die z.B. die Virtuelle Realität mit einbinden oder über Spielmechanismen Fähigkeiten und Wissen vermitteln - sowie physisch basierte Transferformate wie z.B. offene Labore und Reallabore. Mit dem Angebot von Labor- und technischer Infrastruktur oder technischen Prototypen, die zur gemeinsamen Weiterentwicklung spezifischer Produkte oder Lösungsansätze eingesetzt werden können, wird Kooperation initiiert und gelebt. Verschiedene Transferformate werden auch themenfeld- und hochschulübergreifend eingesetzt und somit optimal in ihrer Wirkungsweise getestet. Es erfolgt eine fortlaufende Dokumentation der Transferaktivitäten auf Basis eines eigens entwickelten Indikatorensystems.

## Die InnoSÜD Organisation

Das organisatorische Zentrum der InnoSÜD Idee bildet die eigens geschaffene Transferagentur (vgl. Abb. 5). Diese ist eine Anlauf- und Koordinierungsstelle für alle Projektbeteiligten sowie für Wirtschaft, Gesellschaft und Politik in der Region. Hier ist der Netzwerkgedanke zentral und die Aktivitäten zielen darauf ab, Interessierte aus allen Zielgruppen im Sinne der Projektidee zusammenzubringen (Abb. 2).

Zur fachlichen Koordinierung setzt InnoSÜD die sogenannten Transformatoren ein. Sie sind fachspezifische Innovationsmanagerinnen und -manager, die sowohl in den InnoSÜD-Maßnahmen (Teilprojekten) ihres Themenfeldes zuhause sind als auch die Schnittstelle für Fachfragen in Un-

ternehmen und Gesellschaft bilden. Über gut sichtbare Kontaktmöglichkeiten, z.B. auf der InnoSÜD-Projekt-Homepage ([www.innosued.de](http://www.innosued.de)), werden Interessierte aufgefordert, sich direkt mit der Transferagentur in Verbindung zu setzen, um Kooperationsmöglichkeiten zu eruieren.

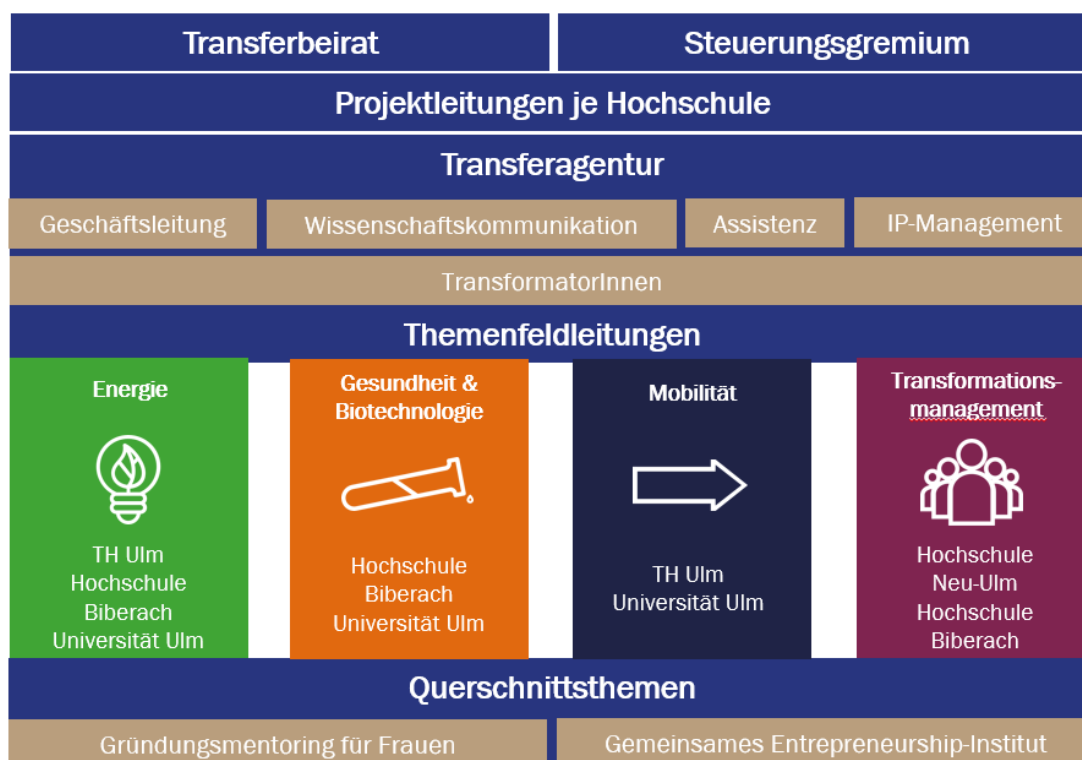


Abb. 5: Organisationsstruktur InnoSÜD (in Anlehnung an Transferstrategie des Hochschulverbundes InnoSÜD)

Wie aus der obigen Abbildung ersichtlich wird, adressiert InnoSÜD auch Querschnittsthemen im Bereich der Gleichstellung und Gründung. Diese sind nicht schwerpunktspezifisch und werden in allen Maßnahmen berücksichtigt, so dass InnoSÜD ein umfassendes Gesamtprojekt für zukunftsorientierte Transferaktivitäten darstellt.

## Literatur

BMBF (2018): Bundesbericht Forschung und Innovation 2018. Unter: <https://www.bundesbericht-forschung-innovation.de> (abgerufen am 16.04.2019)

Christensen, Clayton (1997): The Innovator's Dilemma. Hrsg.: Harvard Business School Press. Boston.

Dichtl, Erwin; Issing, Ottmar (1987): Vahlens Großes Wirtschaftslexikon R-Z. Band 4, München: Beck-Juristischer Verlag, Seite 1821

Einwiller, R. (2017): Innovationsindex 2017. Kreise und Regionen in Baden-Württemberg. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 1/2017.

Prognos (2016): Prognos Zukunftsatlas – Regionen und ihre Zukunftschancen; unter: <https://www.prognos.com/zukunftsatlas-map/16/> (abgerufen am 19.02.2017).

Transferstrategie des Hochschulverbundes InnoSÜD, Antrag an das BMBF vom 17.02.2019, erstellt durch A. Bleicher, M. von Schwerin, S. Kochanek, J. Kormann (nicht öffentlich verfügbar)

WR (2007): Empfehlungen zur Interaktion von Wissenschaft und Wirtschaft. Drs. 7865-07. Oldenburg, 25.05.2007

WR (2016): Wissens- und Technologietransfer als Gegenstand institutioneller Strategien. Positionspapier. Drs. 5665-16. Verabschiedet in Weimar, Oktober 2016.

Zeit (2019): Jedes dritte neugeborene Mädchen wird 100 Jahre alt. Unter: <https://www.zeit.de/news/2019-04/23/jedes-dritte-neugeborene-maedchen-wird-100-jahre-alt-190423-99-929281> (abgerufen am 02.05.2019)

## Autorinnen und Autor

**Dr. Julia Kipper-Albertini**, ist seit Oktober 2018 Geschäftsleiterin der Transferagentur InnoSÜD. Nach dem Chemiestudium und einer dreijährigen Post-Doc Zeit an der Rockefeller Universität in New York arbeitete sie als Programmkoordinatorin im EUREKA/COST-Büro des BMBF beim Projektträger DLR in Bonn. Zuletzt war sie Vertretungsprofessorin an der Hochschule Biberach im Studiengang Pharmazeutische Biotechnologie.

**Dr. Thomas Aigle** leitet seit 2017 die Stabstelle Forschungs- und Innovationsmanagement an der Technischen Hochschule Ulm. Davor beschäftigte er sich in verschiedenen Funktionen in Wirtschaft und Wissenschaft mit Zukunftstechnologien und neuen Märkten und promovierte über Innovationen im Automobilbau.

**Prof. Dr. Marianne von Schwerin** ist Professorin für Softwareentwicklung an der Technischen Hochschule Ulm. Seit 2015 ist sie Prorektorin für Forschung und Internationales an der Technischen Hochschule Ulm und war maßgeblich bei der Initiierung von InnoSÜD beteiligt.

# Systematische Innovation mit TRIZ – eine kurze Einführung in Widersprüche und Separationsprinzipien

Prof. Dr. Christian Iniotakis, Technische Hochschule Ulm

## Abstract

Es gibt etliche Arten, mit einer harten Problemstellung, die es zu lösen gilt, umzugehen. Typischerweise reicht die methodische Bandbreite von Ignorieren bzw. „Aussitzen“ über eher ungerichtete Trial-and-Error-Versuche bis hin zu einer Fülle an Kreativitätsmethoden wie etwa Brainstorming. Während die erstgenannten Ansätze bei harten Problemstellungen nie bzw. nur selten eine Chance auf Erfolg bieten, erweist sich leider auch die Anwendung von üblichen Kreativitätsmethoden leider allzu oft als Sackgasse: Selbst wenn an sich vielversprechende Ideen gefunden werden können, eignen sich diese nach näherer Betrachtung letztlich doch nicht für die Problemlösung, weil ihrer Umsetzung valide Kritikpunkte oder offensichtliche Einschränkungen im Wege stehen.

Im Gegensatz dazu bietet die Innovationsmethode TRIZ zahlreiche zielgerichtete Verfahren und Hilfestellungen dafür, starke Ideen und Lösungsmuster systematisch zu generieren, also direkt aktiv zu erarbeiten. Ein solcher Teil der TRIZ-Methodik, der auf der Identifikation von Widersprüchen und deren Lösung durch Separationsprinzipien basiert, wird nachfolgend kurz skizziert. Auf diese Weise können nicht nur neue Ideen gewonnen, sondern auch genau diejenigen Schwachpunkte systematisch adressiert werden, welche eine Umsetzung bereits vorhandener vielversprechender Lösungsansätze bislang blockieren.

## Einleitung

Die Ursprünge von TRIZ, der „Theorie des erfinderischen Problemlösens“, sind mittlerweile schon ca. 70 Jahre alt<sup>2</sup>. Die Grundlagen und auch die ersten klassischen Tools dieses Methodenbaukastens rund um das Thema Innovation und Verbesserung wurden in der früheren Sowjetunion entwickelt, ohne dabei „im Westen“ wirklich wahrgenommen zu werden. Erst seit dem Fall des „Eisernen Vorhangs“ kam es zu einem signifikanten Wissenstransfer in andere Länder. Bei zahlreichen Technologiekonzernen insbesondere in den USA und Südkorea hat sich TRIZ seither fest etabliert. Inzwischen setzen auch vermehrt kleinere und mittlere Firmen und Unternehmen aus den verschiedensten Branchen weltweit TRIZ erfolgreich ein. Einer der Hauptausgangspunkte von TRIZ liegt darin, aus vergangenen erfolgreichen Innovationen, Erfindungen oder Durchbrüchen starke abstrakte Lösungsmuster abzuleiten. Haben diese Lösungsmuster früher, in verschiedenen (technischen) Bereichen und bei unterschiedlichen anderen Problemstellungen immer wieder zu einem innovativen Durchbruch geführt, könnten sie im besten Fall nun bei der konkreten eigenen Problemstellung ebenfalls entscheidend weiterhelfen.

---

<sup>2</sup> Siehe z.B. <https://matriz.org/about-matriz/about-founder/> (abgerufen am 15.04.2019).

In Deutschland am bekanntesten sind die 40 Innovativen Prinzipien, die eine ältere klassische Sammlung an Lösungsrezepten darstellen (siehe Tabelle 1), welche stark auf technische Szenarien zugeschnitten ist. Für harte Problemstellungen - aus technischen wie nichttechnischen Bereichen - ist allerdings der nachfolgend skizzierte methodische Weg über Widersprüche und Separationsprinzipien effektiver, zumal bei Bedarf dann immer noch ergänzend auf die 40 Innovativen Prinzipien zurückgegriffen werden kann.

Tabelle 1: Übersicht der 40 Innovativen Prinzipien<sup>3</sup>

01 Segmentation	02 Taking out	03 Local quality
04 Asymmetry	05 Merging	06 Universality
07 "Nested Doll"	08 Anti-weight	09 Preliminary anti-action
10 Preliminary action	11 Beforehand cushioning	12 Equipotentiality
13 "The other way round"	14 Spheroidality - Curvature	15 Dynamics
16 Partial or excessive actions	17 Another dimension	18 Mechanical vibration
19 Periodic action	20 Continuity of useful action	21 Skipping
22 "Blessing in disguise"	23 Feedback	24 "Intermediary"
25 Self-service	26 Copying	27 Cheap short-living objects
28 Mechanics substitution	29 Pneumatics and hydraulics	30 Flexible shells and thin films
31 Porous materials	32 Color changes	33 Homogeneity
34 Discarding and recovering	35 Parameter changes	36 Phase transitions
37 Thermal expansion	38 Strong oxidants	39 Inert atmosphere
40 Composite materials		

## Widersprüche und Separationsprinzipien

Aus der TRIZ-Perspektive geht eine wirkliche Innovation immer auch mit der Überwindung eines Widerspruchs einher. Ein solcher Widerspruch signalisiert, dass an irgendetwas, z.B. an einen Parameter oder ein Objekt, unterschiedliche, sich widersprechende Anforderungen gestellt werden<sup>4</sup>. Beispielsweise:

*Das Auto sollte groß sein, damit ich viel transportieren kann, und das Auto sollte klein sein, damit es besser in Parklücken passt.*

*Meine Ladenfläche sollte groß sein, damit ich vielen Kunden viele Produkte präsentieren kann, und meine Ladenfläche sollte klein sein, um die Mietkosten gering zu halten.*

Bei einigen harten Problemstellungen kann der zugehörige entscheidende Widerspruch ohne tiefere Analyse einfach und direkt identifiziert werden. Auch aus Szenarien, in denen bislang ein Kompromiss oder Mittelweg eingegangen werden muss oder eine Optimierung lohenswert erscheint, lässt sich direkt ein relevanter Widerspruch ableiten. Kann eine bereits vorhandene Lösungsidee mit Potential wegen eines validen Einwands („ja, aber ...“) nicht umgesetzt werden, lässt sich auch diese Situation direkt in einen Widerspruch überführen. Für Herausforderungen aus komplexeren Problemfeldern oder auch den Spannungsfeldern zwischen Kunden, Unternehmen und Technologie gibt es neuere, tiefergehende Analysemethoden<sup>5</sup>,

<sup>3</sup> Vgl. z.B. <https://triz-journal.com/40-inventive-principles-examples/> (abgerufen am 15.04.2019).

<sup>4</sup> In TRIZ gibt es verschiedene Widerspruchsvarianten, die sich auch ineinander überführen lassen. Der historisch gewachsene Fachbegriff für die hier verkürzt als „Widerspruch“ bezeichnete Version ist „Physikalischer Widerspruch“.

<sup>5</sup> Beispielsweise die von V. Souchkov entwickelten Methoden RCA+ und VCM. Siehe hierzu z.B. Koltze, Karl / Souchkov, Valeri: Systematische Innovation. TRIZ-Anwendung in der Produkt- und Prozessentwicklung, München <sup>2</sup>2017, S. 134ff. und S. 210ff. sowie weiterführende Referenzen darin.

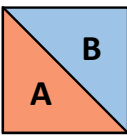
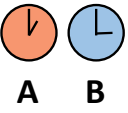
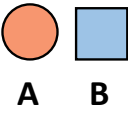
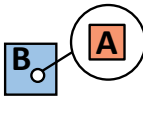
mit denen sich diejenigen relevanten Widersprüche aufdecken lassen, welche nicht von vornherein offensichtlich sind, aber der Problematik zugrunde liegen. Damit erhöht sich die Zahl der möglichen Ansatzpunkte für starke Innovationen deutlich.

Für jeden identifizierten Widerspruch bieten die vier Separationsprinzipien vier mögliche Ansatzpunkte, starke Lösungsmuster zu finden (siehe Abbildung 2). Die klassischen Separationsprinzipien sind dabei Separation im Raum, Separation in der Zeit, Separation in der Beziehung und Separation durch Systemübergang. Ausgehend von einem generischen Widerspruch der Form:

*Es sollte A erfüllt sein, ... und es sollte B erfüllt sein, ...* . (dabei ist A gegensätzlich zu B)

wird für jedes Separationsprinzip überprüft, ob sich daraus ein starkes innovatives Lösungsmuster ableiten lässt: Ein solches wäre dadurch gekennzeichnet, dass beide wünschenswerten Anforderungen erfüllt werden (könnten), ohne dabei einen nennenswerten Nachteil in Kauf nehmen zu müssen! Eine erste Einschätzung, ob ein Separationsprinzip vielversprechend zu sein scheint - oder auch nicht -, lässt sich durch Tests gewinnen. Anschließend kann genau durch Ausnutzen eines solchen geeigneten Separationsprinzips im besten Fall ein starkes Lösungsmuster erarbeitet werden.

Abbildung 2: Die vier Separationsprinzipien

Separationsprinzipien			
Raum	Zeit	Beziehung	Systemübergang
<p>TEST: WO?</p>  <p>Räumliche Situation skizzieren!</p>	<p>TEST: WANN?</p>  <p>Zeitlichen Verlauf skizzieren!</p>	<p>TEST: FÜR WEN?</p>  <p>Unterschiede herausarbeiten!</p>	<p>TEST: GANZES vs. TEILE</p>  <p>Geeignete Systemebenen finden!</p>
<p>In Ruhe analysieren: Was müsste getan werden, um A und B so trennen zu können?</p>			

## Zusammenfassung

Bei der Lösung harter Problemstellungen bietet sich im Rahmen von TRIZ das hier nur kurz skizzierte systematische Vorgehen über Widersprüche und Separationsprinzipien an. Im Gegensatz zu üblichen Kreativitätsmethoden wie etwa Brainstorming stellt ein valides „aber“ oder eine gegebene Einschränkung für die TRIZ-Methodik nicht das Ende der Bemühungen dar, sondern erst den Anfang der systematischen Innovationsarbeit.

## Der Autor

**Prof. Dr. Christian Iniotakis** ist seit 2015 Professor an der THU mit den Lehr- und Forschungsgebieten Simulation, Physik, TRIZ und Projektmanagement.

Als einer von weltweit ca. 25 akkreditierten Coaches der International TRIZ Association MA TRIZ begleitet er systematisch Innovations- und Verbesserungsprojekte.