

88. Jahrgang – Heft 2 – 2017

ZEITSCHRIFT FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFT

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| Die Entwicklung des deutschen Pkw-Bestandes: Ein Vergleich bestehender Modelle und die Vorstellung eines evolutionären Simulationsansatzes Von Benjamin Kickhöfer und Jens Brokate | Seite 71 |
| Kommentar zu dem Beitrag: Die Entwicklung des deutschen Pkw-Bestandes: Ein Vergleich bestehender Modelle und die Vorstellung eines evolutionären Simulationsansatzes * Von Till Gnann | Seite 104 |
| Konzept der Verkehrssystemevolution: Eine erweiterte Multi-Level Perspektive Von Stephan Müller und Gernot Liedtke | Seite 106 |
| Kommentar zu dem Beitrag: Konzept der Verkehrssystemevolution: Eine erweiterte Multi-Level Perspektive * Von Claus Doll | Seite 131 |
| Verkehrssysteminnovationen und -evolution: Politikprinzipien für eine langfrist- und innovationsorientierte, integrierte Verkehrspolitik Von Stephan Müller und Gernot Liedtke | Seite 133 |
| Kommentar zu dem Beitrag: Verkehrssysteminnovationen und -evolution: Politikprinzipien für eine langfrist- und innovationsorientierte, integrierte Verkehrspolitik * Von Claus Doll | Seite 158 |
| Abschätzung der Kapitalkosten im Rahmen des Eisenbahnregulierungsgesetzes Von Marita Balks | Seite 161 |
| Kommentar zu dem Beitrag: Abschätzung der Kapitalkosten im Rahmen des Eisenbahnregulierungsgesetzes * Von Karl-Hans Hartwig | Seite 177 |

* Dieser Kommentar gilt als zustimmende Stellungnahme hinsichtlich einer Veröffentlichung des genannten Beitrags gemäß dem (Alternativ-)Ansatz zur transparenten Qualitätsprüfung und -diskussion bei der Zeitschrift für Verkehrswissenschaft. Siehe zu diesem Ansatz der Qualitätsprüfung sowie auch zum (Standard-)Ansatz der „Doppel-Blind-Begutachtung“ von Beiträgen die diesbezüglichen Angaben auf der Homepage der ZfV (www.z-f-v.de) → „Einreichung von Beiträgen und Begutachtung / Qualitätsprüfung“).

Herausgeber

Prof. Dr. Bernhard Wieland (Technische Universität Dresden, federführender Herausgeber)
Prof. Dr. Thorsten Beckers (Technische Universität Berlin, federführender Herausgeber)
Prof. Dr. Kai Nagel (Technische Universität Berlin, federführender Herausgeber)
Prof. Dr. Herbert Baum (Universität zu Köln)
Prof. Dr. Alexander Eisenkopf (Zeppelin Universität)
Prof. Dr. Christos Evangelinos (Internationale Hochschule Bad Honnef · Bonn (IUBH))
Prof. Dr. Karl-Hans Hartwig (Universität Münster)
Dr. Hendrik Haßheider (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI))
Prof. Dr. Kay Mitusch (Karlsruher Institut für Technologie (KIT))
Prof. Dr. Christoph Walther (Bauhaus-Universität Weimar/ PTV AG)

Herausgeberbeirat

Prof. Dr. Gerd Aberle (Universität Gießen)
Prof. Dr. Kay W. Axhausen (Eidgenössische Technische Hochschule - ETH, Zürich)
Prof. Dr. Johannes Bröcker (Universität zu Kiel)
Prof. Dr. Frank Fichert (Hochschule Worms)
Prof. Dr. Matthias Finger (École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL))
Prof. Dr. Astrid Gühnemann (Universität für Bodenkultur Wien)
Prof. Dr. Georg Hauger (Technische Universität Wien)
Prof. Dr. Christian von Hirschhausen (Technische Universität Berlin)
Prof. Dr. Günter Knieps (Universität Freiburg)
Prof. Dr. Jürgen Kühling (Universität Regensburg)
Prof. Dr. Gernot Liedtke (Technische Universität Berlin/ DLR Berlin)
Dr. Heike Link (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung - DIW, Berlin)
Dr. Robert Malina (Universität Münster)
Prof. Dr. Hans-Martin Niemeier (Hochschule Bremen)
Prof. Dr. Werner Rothengatter (Karlsruher Institut für Technologie (KIT))
Prof. Dr. Bernhard Schlag (Technische Universität Dresden)
Dr. Martin Winter (Technische Universität Berlin)

Redaktion

Prof. Dr. Bernhard Wieland (Technische Universität Dresden)
Prof. Dr. Thorsten Beckers (Technische Universität Berlin)
Prof. Dr. Christos Evangelinos (Internationale Hochschule Bad Honnef · Bonn (IUBH))
Dr. Martin Winter (Technische Universität Berlin)

Einreichung von Beiträgen

Manuskripte sind an die federführenden Herausgeber zu senden:

Prof. Dr. Bernhard Wieland
bernhard.wieland@tu-dresden.de
Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften
Institut für Wirtschaft und Verkehr
Professur für Verkehrswirtschaft und internationale Verkehrspolitik
01062 Dresden

Prof. Dr. Thorsten Beckers
tb@wip.tu-berlin.de
Technische Universität Berlin
Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP)
Bereich Infrastrukturmanagement und Verkehrspolitik (IM-VP)
Sekt. H 33
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

Prof. Dr. Kai Nagel
nagel@vsp.tu-berlin.de
Technische Universität Berlin
Fachgebiet Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik (VSP)
Sekt. SG 12
Salzufer 17-19
10587 Berlin

Informationen zur Einreichung von Beiträgen und zur Qualitätsprüfung und Begutachtung eingereicherter Beiträge finden Sie auf der Homepage der ZfV (www.z-f-v.de → „Einreichung von Beiträgen und Begutachtung / Qualitätsprüfung“).

Verlag – Herstellung – Vertrieb – Anzeigen

Verkehrs-Verlag J. Fischer,
Corneliusstraße 49, 40215 Düsseldorf
Telefon: (0211) 9 91 93-0, Telefax (0211) 6 80 15 44
www.verkehrsverlag-fischer.de

Einzelheft EUR 25,50 – Jahresabonnement EUR 73,00 zuzüglich MwSt und Versandkosten
Für Anzeigen gilt Preisliste Nr. 25 vom 1.1.2009
Erscheinungsweise: drei Hefte pro Jahr

© Verkehrs-Verlag J. Fischer, Corneliusstraße 49, 40215 Düsseldorf
ISSN: 0044-3670

Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophotos u.ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Die Entwicklung des deutschen Pkw-Bestandes: Ein Vergleich bestehender Modelle und die Vorstellung eines evolutionären Simulationsansatzes

VON BENJAMIN KICKHÖFER UND JENS BROKATE

1. Einleitung

Zwischen den Jahren 2008 und 2017 stieg das Durchschnittsalter der in Deutschland zugelassenen Pkw von 8,0 auf 9,3 Jahre (KBA 2017a). Dies deutet darauf hin, dass auch die durchschnittliche Lebensdauer der Fahrzeuge zunimmt. Bei einer nahezu konstanten Anzahl an Neuzulassungen von ca. 3–3,5 Mio. Pkw pro Jahr impliziert dies ein Wachstum der gesamtdeutschen Pkw-Flotte (KBA 2017b). Diese Beobachtung steht im Widerspruch zur der Wahrnehmung, dass neue Verkehrsangebote, wie z. B. stationsgebundenes oder free-floating¹ Carsharing, einen Trend in Richtung einer Sharing Economy angestoßen haben, bei dem die Nutzer das Fahrzeug nicht mehr selbst besitzen, sondern nur bei Bedarf nutzen. Derartige Angebote wurden in den letzten Jahren insbesondere in Großstädten stark ausgebaut und verfügen mittlerweile über eine solide Nutzerbasis. Ungeklärt ist bislang, ob sie privaten Pkw-Besitz und/oder Pkw-Nutzung reduzieren. Im Hinblick auf neue Geschäftsmodelle im Rahmen automatisierter Carsharing-Flotten könnten solche Entwicklungen den (privaten) Pkw-Markt in Zukunft jedoch stark beeinflussen.

Für Verkehrsplanung und die Entwicklung politischer Maßnahmen ist es in jedem Fall äußerst relevant, den deutschen Pkw-Bestand und dessen Nutzung vorherzusagen. So ist bspw. die Motorisierungsrate eine wichtige Eingangsgröße für viele Verkehrsmodelle, die zur Infrastrukturplanung verwendet werden. Außerdem werden zeitlich differenzierte Energieverbräuche der Fahrzeuge in Zukunft wichtige Eingangsgrößen für Emissionsmonitoring und – bei zunehmender Elektrifizierung – für die Ladeinfrastrukturplanung darstellen, also für die Kopplung von Verkehrs- und Energiesystem. Während sich Automobilhersteller vor allem für zukünftige

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. Benjamin Kickhöfer
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin
E-Mail benjamin.kickhoefer@dlr.de

Dipl.-Wi.-Ing. Jens Brokate
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Fahrzeugkonzepte
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
E-Mail: jens.brokate@dlr.de

¹ Beim free-floating Carsharing kann das Fahrzeug in einem definierten Bereich der Stadt im öffentlichen Straßenraum angemietet und abgegeben werden. Im Gegensatz dazu finden Ausleihe und Rückgabe beim stationsgebundenen Carsharing nur an vorgegebenen Orten statt.

Absatzentwicklungen interessieren, stellt sich Kommunen eher die Frage, ob ggf. nicht mehr benötigter Parkraum für andere Nutzungen freigegeben werden kann.

Bisher werden derartige Szenarien von den für die Infrastrukturplanung in Deutschland verwendeten Modellen nicht oder nur ungenügend abgebildet. So erstellten z. B. Schubert, Kluth et al. (2014) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) eine langfristige Prognose des Personen- und Güterverkehrs in Deutschland für das Jahr 2030 (VP 2030). Diese berücksichtigt alle Verkehrsmittel und bildet u. a. die Basis für den Bundesverkehrswegeplan 2030, welcher der Bewertung aller größeren Investitionen des Bundes in landgebundene Verkehrsinfrastruktur dient. Die Autoren der VP 2030 verwenden eine Funktion mit sinkenden Skalenerträgen (Gompertz-Funktion) und prognostizieren damit für einen Zeitraum von 20 Jahren eine Vergrößerung der deutschen Pkw-Flotte um insgesamt 9,8% (0,5% p. a.), also eine geschätzte Vergrößerung der Flotte von 42,30 Mio. Fahrzeuge im Jahr 2010 auf 45,91 Mio. im Jahr 2030. Die Autoren folgen mit diesem Ansatz der Argumentation, dass Pkw-Besitzentscheidungen in Industrieländern unabhängig von makroökonomischen Variablen seien und deshalb lediglich von der Zeit abhängen. Zur Berechnung der Anteile verschiedener Antriebe in der Flotte stützen sich die Autoren auf Studien von Nitsch et al. (2012), Schlesinger et al. (2010) und Zimmer et al. (2011). Diese drei Studien versuchen ihrerseits eine Vorhersage der deutschen Pkw-Flotte, weshalb die jeweils zugrunde liegenden Modelle in diesem Artikel genauer vorgestellt werden.

Insgesamt stellt sich die Frage, inwieweit die für die Vorhersage der deutschen Pkw-Flotte verfügbaren Modelle in der Lage sind, den Einfluss technologischer und (verkehrs-) politischer Veränderungen auf den Pkw-Bestand in Deutschland vorherzusagen, insbesondere vor dem Hintergrund möglicher disruptiver Veränderungen des Verkehrsmarktes durch die Automatisierung von Pkw. Der vorliegende Artikel hat daher zunächst zum Ziel, die bekanntesten Modellansätze sowie einige der zur Modellierung verfügbaren Datenquellen vorzustellen und Lücken in der Modelllandschaft zu identifizieren. Basierend auf dieser Analyse wird dann ein neuartiger evolutionärer Modellansatz vorgeschlagen, der es perspektivisch ermöglichen soll, diese Lücken zu schließen und bspw. Einflüsse regionaler Regulierungen oder (geteilter) autonomer Fahrzeuge auf Pkw-Besitz und -nutzung vorherzusagen.

Der vorliegende Artikel ist wie folgt aufgebaut: In Abschnitt 2 werden ausgewählte, in Deutschland verfügbare Modelle zur Abbildung der Pkw-Märkte vorgestellt, deren Schwerpunkte beleuchtet und Lücken in der Modelllandschaft identifiziert. Abschnitt 3 erläutert die Modellstruktur eines sich aktuell in der Entwicklung befindlichen evolutionären Simulationsansatzes einschließlich der zur Modellierung geeigneten Datenquellen. Dabei wird auch auf Herausforderungen eingegangen, die sich im Rahmen dieser Entwicklung bislang ergeben haben. Abschnitt 4 fasst die wichtigsten Erkenntnisse dieses Artikels zusammen und gibt einen Ausblick auf daraus abgeleitete relevante Forschungsfragen, die im Rahmen der Modellweiterentwicklung berücksichtigt werden sollten.

2. Vergleich ausgewählter Modellansätze

In diesem Abschnitt werden in Deutschland bestehende Modelle² vorgestellt, die die Abbildung der deutschen Pkw-Märkte zum Ziel haben. Die Autoren stützen sich dabei auf Literaturrecherchen zu den beschriebenen Modellen, ein Anspruch auf einen allumfassenden Überblick wird nicht erhoben. Die Vorstellung beschränkt sich auf die Konzepte der Modelle, eine Betrachtung und Vergleich der jeweiligen Ergebnisse erfolgt nicht.³

2.1 MODELLTYPEN

Nach Al-Alawi und Bradley (2013) lassen sich Modelltypen in Bezug auf die Nachfrageseite wie folgt kategorisieren:

- Agentenbasierte Modelle (engl. *agent-based models*)
- Konsumentenentscheidungsmodelle (engl. *consumer choice models*)
- Diffusionsmodelle (engl. *diffusion rate models*)

Al-Alawi und Bradley (2013) beschreiben, dass in *agentenbasierten Modellen* i. d. R. eine virtuelle Umgebung geschaffen wird, in welcher Aktionen und Interaktionen einzelner Agenten simuliert werden. Die Agenten können z. B. Individuen oder Organisationen abbilden, die sich durch Eigenschaften und Präferenzen unterscheiden, was wiederum deren jeweiliges Handeln in den gewählten Systemgrenzen bestimmt.

Unter dem Begriff *Konsumentenentscheidungsmodelle* verstehen die Autoren diskrete Entscheidungsmodelle (Discrete-Choice-Modelle). Diese Modelle beschreiben das Verhalten von Individuen oder Kollektiven, die sich aus einer endlichen und diskreten Menge an Alternativen entscheiden. Mit Hilfe realer Beobachtungen (engl. *revealed preferences [RP]*) oder Befragungen (engl. *stated preferences [SP]*) kann der Einfluss bestimmter Attribute der verfügbaren Alternativen oder sich ändernder Rahmenbedingungen auf die Auswahlwahrscheinlichkeiten abgeleitet werden, wobei zur Kalibrierung historische Verteilungen vorliegen müssen. Da in den Modellen i. d. R. nicht alle Einflüsse auf die Kaufentscheidung abgebildet werden können, setzen sich die Modelle üblicherweise aus einer deterministischen und einer stochastischen Komponente zusammen.

Das Ziel von *Diffusionsmodellen* ist die Nachahmung von Produktlebenszyklen im Zeitverlauf. Diffusion bezeichnet dabei den Prozess, in dem sich neue Technologien oder

² Die Begriffe „Arbeiten“, „Studien“ und „Modelle“ werden nachfolgend synonym verwendet.

³ Die Modellvorstellungen sind dabei relativ ausführlich, so dass detailliertere Leser und Modellierer in die Lage versetzt werden, die jeweiligen Stärken und Schwächen der Modelle – auch auf technischer Ebene – zu identifizieren. Weniger detailliertere Leser können direkt ab Abschnitt 2.3 weiterlesen, wo eine Synthese und Bewertung der vorgestellten Modelle durchgeführt wird.

Produkte in einem Markt durchsetzen (Rogers 1983). Die Diffusionsrate stellt dabei die Geschwindigkeit dar, mit der sich ein neues Produkt durchsetzt. Die klassischen Ansätze hierfür sind unter anderem die Charakterisierung von Adopter-Typen oder der Einsatz einer S-Kurve zur Abbildung der Diffusionsrate. Für die Modellierung der Diffusion von Technologieinnovationen im Pkw-Bestand wird häufig das Modell von Bass (1969) genutzt. Es benötigt historische Zeitreihen von Absatzmengen und beruht auf der Annahme, dass Produkte sich in Generationen weiterentwickeln.

Die drei genannten Modelltypen können auch miteinander kombiniert werden. Solche Hybride vereinen mindestens zwei Modelltypen und versuchen so, bekannte Schwächen eines einzelnen Modelltyps zu überwinden. So zeigen bspw. Jensen et al. (2016), dass es problematisch ist, die Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen ausschließlich durch ein Discrete-Choice-Modell abzubilden, welches anhand tatsächlicher Marktanteile kalibriert wurde: Ist der Marktanteil einer Option gering, erhält diese Option eine stark negative Konstante. Eventuelle Verbesserungen der Attribute dieser Option bleiben unberücksichtigt, sodass zukünftige Marktanteile dieser Option systematisch unterschätzt werden. Eine Ergänzung des Discrete-Choice-Modells um ein Diffusionsmodell kann diesen Nachteil ausgleichen (vgl. Jensen et al. 2016).

In Bezug auf die Angebotsseite, also das im Modell hinterlegte Technologieangebot, kann zwischen zwei Ansätzen für die Berechnung der Produktionskosten und des Fahrzeugverbrauches unterschieden werden. In einem Top-down-Ansatz werden Kosten und Energieverbräuche pauschal für ganze Fahrzeuge oder den Marktdurchschnitt bestimmt. Für die Abbildung des Status quo dienen meist Marktrecherchen als Grundlage. Die zukünftige Entwicklung wird basierend auf Trendlinien und Expertenmeinungen abgeschätzt. Im Bottom-up-Ansatz hingegen werden die Kosten auf Ebene der Fahrzeugkomponenten bestimmt. Mittels Fahrzeugsimulationen kann der Einfluss einzelner Komponenten des Antriebs auf den Energieverbrauch bestimmt werden. Als wesentliche Vorteile des Bottom-up-Ansatzes gelten die Transparenz im Vorgehen und die Unabhängigkeit bezüglich der verwendeten Datengrundlage. Im Vergleich zum Top-down-Ansatz gilt der Bottom-up-Ansatz daher als besseres Vorgehen in der Technologiebewertung (EPA 2011).

Für eine modellendogene Berechnung zukünftiger Fahrzeug- oder Komponentenkosten kann die auf den Flugzeugbau (Wright 1936) zurückgehende Lernkurven-Methode genutzt werden, die einen Zusammenhang zwischen Herstellungskosten und kumulierter Produktionsmenge herstellt. Im Zuge der Erweiterung der Theorie um zusätzliche Einflussfaktoren wird in der Literatur der verallgemeinernde Begriff der Erfahrungskurve verwendet (Jamasp und Köhler 2007). Bei einer solchen endogenen Kostenberechnung dient der simulierte Fahrzeugabsatz des Vorjahres als Input für den aktuellen Zeitschritt. Somit entsteht eine Rückkopplung zwischen den Ergebnissen zweier Berechnungsschritte.

2.2 BESTEHENDE MODELLE

2.2.1 OPTUM

Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt (BMU) erstellten das Öko-Institut und das Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) eine Studie zur ‚Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen‘ (OPTUM), in der Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft integriert betrachtet werden (Zimmer et al. 2011).⁴ Interessant ist hierbei insbesondere, dass zukünftige Marktpotenziale von Elektrofahrzeugen bezogen auf bestimmte Nutzergruppen (Einsatzmuster) bestimmt werden und dabei die Kaufentscheidung für Neuwagen modelliert wird. Als empirische Grundlage für diese Modellierung dienen eine qualitative Untersuchung mittels Fokusgruppen sowie eine standardisierte Stated-preference-Befragung (SP) von Neuwagenkäufern.

Zunächst definieren die Autoren ein Maximalpotenzial für Elektrofahrzeuge, differenziert nach Fahrzeuggrößenklassen. Dieses beschreibt den theoretisch maximal durch Elektrofahrzeuge (BEV und PHEV) substituierbaren Anteil des deutschen Pkw-Bestandes bei gegebenen Einsatzmustern und angenommener (Lade-)Infrastrukturentwicklung. Dabei stützt sich die Studie auf die berichteten Wege der Befragung ‚Mobilität in Deutschland 2008‘ (MiD 2008, vgl. Follmer et al. 2010) und ergänzt diese um unregelmäßig vorkommende Fahrten, die ggf. oberhalb der Reichweite von batterieelektrisch angetriebenen Pkw liegen. Über die Kopplung mit den Ergebnissen der SP-Befragung leiten die Autoren ein Marktpotenzial ab, das die Obergrenze des möglichen Marktanteils von Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen (und damit auch im Bestand) darstellt. Dies ist auch insofern als Obergrenze zu interpretieren, weil die relevanten Parameter der Fahrzeugtechnologien abgeschätzt und nicht über Rückkopplung mit den Stückzahlen berechnet werden und so die Unsicherheiten bei der Kaufentscheidung nur unzureichend abgebildet werden. Es findet bei diesem Ansatz verfolgt demnach eine Modellierung des Pkw-Neuwagenmarktes mit fixierter Neuzulassungszahl und fixierter Aufteilung auf die Größenklassen, eine Interaktion mit dem Gebrauchtwagenmarkt, der die neuen Fahrzeuge nach einigen Jahren aufnehmen müsste, fehlt.

Im Rahmen des Projektes ‚Renewability III‘, welches Optionen zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors bis 2050 untersuchte, wurde OPTUM weiterentwickelt (Zimmer et al. 2016). Der Ansatz ist als zielgetrieben zu charakterisieren, d. h., die Dekarbonisierung des Verkehrssektors musste in allen Szenarien erreicht werden. Bei der Modellierung der Neuzulassungen werden die Nutzer nach Haltergruppe und Jahresfahrleistung differenziert und wählen in einem Discrete-Choice-Modell basierend auf den Total Cost of Ownership (TCO) ein Fahrzeug. Die Parameter des Modells wurden aus dem Fahrzeugdatensatz der

⁴ Dies ist eine der drei Studien, auf die sich die VP 2030 bzgl. der Flottendurchdringung mit verschiedenen Antrieben stützt. Die beiden anderen Studien sind zum einen die *Leitstudie* von Nitsch et al. (2012), bei der VECTOR21 zur Anwendung kam (siehe Abschnitt 2.2.3), zum anderen die *Energiestudie* von Schlesinger et al. (2010), welche allerdings keine Pkw-Marktmodellierung vornimmt.

MiD 2008 für Diesel und Benzinfahrzeuge geschätzt, für andere Antriebe über die reale Absatzentwicklung zwischen 2010 und 2014 abgeleitet. Die technologische Entwicklung wird im Gegensatz zur ursprünglichen Variante von OPTUM nicht mehr durch eine einfache Dämpfungsfunktion, sondern über Kostenkurven einer eigens entwickelten Technologiedatenbank abgebildet. Diese stellt die Kosten verschiedener Technologien zu verschiedenen Zeitpunkten in der Zukunft dar, koppelt aber im Gegensatz zu VECTOR21 (siehe Abschnitt 2.2.3) die Kostenminderungen nur rudimentär an die Stückzahlen einer bestimmten Technologie. Da der Gesamt-Pkw-Bestand (abgebildet über eine Prognose der Motorisierungsrate) eine exogene Größe ist, kann nicht modelliert werden, welche Änderungen sich bspw. durch neue Mobilitätsangebote ergeben würden. Derartige Entwicklungen können nur indirekt über die Motorisierungsrate berücksichtigt werden. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar.

2.2.2 ALADIN

Im Auftrag der ‚Nationalen Plattform Elektromobilität‘ (NPE) erstellte das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) eine Studie zu ‚Markthochlaufszenerarien für Elektrofahrzeuge‘ (Plötz et al. 2013; Plötz et al. 2014). Das darin entwickelte Modell ALADIN (ALternative Antriebe Diffusion und INfrastruktur)⁵ analysiert einzelne Fahrprofile von Fahrzeugen in mindestens einer für die Nutzung repräsentativen Woche, wodurch Kaufentscheidungen nicht auf Basis durchschnittlicher Jahresfahrleistungen modelliert werden müssen. Damit ähnelt die Herangehensweise jener von OPTUM, wobei für den Privatverkehr auf Daten des Deutschen Mobilitätspanels (MOP, siehe Abschnitt 3.1.3) und für den Wirtschaftsverkehr unter ausschließlicher Berücksichtigung reiner Flottenfahrzeuge auf Daten des Projekts ‚Regional Ecomobility 2030‘ (REM2030⁶) zurückgegriffen wird.

Auch hier dienen Neuzulassungen von Pkw als Eingangsgröße für die Modellierung; diese werden auf Grundlage historischer Daten und qualitativer Überlegungen extern bestimmt und auf 3,1 Mio. Pkw pro Jahr fixiert. Die Aufteilung auf verschiedene Größenklassen und Haltergruppen wird ebenfalls anhand historischer Daten bestimmt und wird über den Modellierungszeitraum hinweg als konstant angenommen (Plötz et al. 2013, S. 40-44). Eine Rückkopplung der Neuzulassungen mit dem Gebrauchtwagenmarkt und eine Modellierung der dortigen Transaktionen finden ebenso wenig statt wie eine direkte Berücksichtigung der Preise der Technologien in Abhängigkeit von Stückzahlen; diese Abhängigkeit wird über Szenarien und entsprechende Lernkurven approximiert.

Die Energieverbräuche konventioneller Antriebe sind der Literatur entnommen, ihnen wird pauschal eine lineare Verbesserung im Laufe des Betrachtungszeitraums unterstellt. Hierbei werden die dem Kunden zur Auswahl stehenden Varianten konventionell betriebener

⁵ Siehe auch Wietschel et al. (2013) sowie Gnann (2015) für weiterführende Beschreibungen des Modells.

⁶ Siehe <http://www.rem2030.de/rem2030-de/>.

Fahrzeuge vernachlässigt. Damit entfällt auch der Einfluss spezifischer Kundencharakteristika auf die Technologiewahl und auf die Emissionsreduktion im Gesamtmarkt. Ebenso verhält es sich mit den Varianten elektrifizierter Antriebe, insbesondere da bedarfsgerechte Fahrzeugauslegungen und verschiedene Betriebsstrategien keine Berücksichtigung finden. Das Modell ist eines der am besten dokumentierten Modelle, es ist jedoch nicht öffentlich verfügbar.

2.2.3 VECTOR21

Das Vehicle Technologies Scenario Modell (VECTOR21), welches am Institut für Fahrzeugkonzepte des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt wird, geht auf die Dissertation von Mock (2010) zurück und wurde bereits in vielen Forschungs- und Beratungsprojekten verwendet. Im Fokus von VECTOR21 stand ursprünglich die Vorhersage zukünftiger Marktanteile verschiedenartiger Pkw, die sich hinsichtlich Fahrzeugtechnologie, Antrieb und resultierenden CO₂-Emissionen unterscheiden. Dafür werden Entwicklungspfade verschiedener Antriebstechnologien simuliert, die sich über eine Rückkopplung mit Kaufentscheidungen auf dem Neuwagenmarkt im Zeitverlauf in unterschiedlichem Maße durchsetzen. Die Absatzzahl des Vorjahres bestimmt den Stückpreis eines Pkw im Folgejahr mit Hilfe von Lernkurven.

Für die Modellierung der Neuwagen-Kaufentscheidungen wird ein TCO-Modell⁷ verwendet, wobei Kundengruppen anhand der von ihnen gewünschten Fahrzeug-Größenklasse, Jahresfahrleistung und Adoptionsbereitschaft (Rogers 1983) differenziert werden. Im Gegensatz zu OPTUM handelt es sich nicht um einen nutzenbasierten Ansatz mit Zufallsterm (Logit-Modell), sondern um einen Ansatz der deterministischen Kostenminimierung. Die Anzahl von Pkw-Neuzulassungen ist eine exogene Eingangsgröße für die Modellierung und muss extern bestimmt werden; die Aufteilung auf die verschiedenen Antriebe erfolgt im Verlauf der Modellierung durch VECTOR21. Nicht berücksichtigt werden dabei Nutzungsprofile, die sich auf unregelmäßige längere Fahrten beziehen und sich bei bestimmten Antrieben auf den Wiederverkaufswert (Restwert) und damit auf die Diffusion der Technologie insgesamt auswirken könnten. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar.

2.2.4 TREMOD

Das Modell TREMOD (TRansport Emission Estimation MODe) entstand in den 1990er Jahren im Rahmen eines Vergleichs und einer Konsolidierungsphase verschiedener Modelle zur Emissionsberechnung, aus der zunächst das „Handbuch für die Berechnung von Emissionsfaktoren für Kraftfahrzeuge“ (HBEFA) hervorging. Sowohl das Modell als auch das Handbuch werden seitdem regelmäßig aktualisiert, wobei ersteres auch die

⁷ Mock (2010) spricht von Relevant Cost of Ownership (RCO) und berücksichtigt nur die marginalen Kosten, also keine Fixkosten.

Möglichkeit bietet, die Auswirkung von Maßnahmen auf die Schadstoffemissionen des Verkehrs für zukünftige Jahre mittels Szenarien zu modellieren (siehe z. B. Knörr et al. 2012). Dies beinhaltet auch die Vorhersage des Pkw-Bestands inklusive technischer Differenzierung auf der Grundlage von Fahrzeugkonzepten.

Die Entwicklung der Fahrzeugflotten wird in TREMOD mit Hilfe eines Umschichtungsmodells berechnet, welches Annahmen über die jährlichen Neuzulassungen und Überlebenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Fahrzeugsegmente benötigt. Die Autoren betonen hierbei, dass die resultierenden Zahlen keine Bestandsprognosen sind. Es wird keine Marktsimulation durchgeführt, vielmehr werden Szenarien zum Pkw-Absatz und zur Struktur der Neuzulassungen erstellt. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar, allerdings wird die Weiterentwicklung durch Kooperationspartner ideell und finanziell getragen; dazu zählen unter anderem das Umweltbundesamt (UBA), verschiedene Bundesministerien, der Verband der Automobilindustrie (VDA), der Mineralölwirtschaftsverband und die Deutsche Bahn AG.

2.2.5 Shell-Studien

Seit 1979 verwendet Shell Deutschland Szenarien, um Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung des Pkw-Verkehrs zu untersuchen. Dazu zählen auch Szenarien zur Entwicklung des Pkw-Bestandes, des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Gegenstand der Betrachtung in der neuesten Shell-Studie ist die Situation in Deutschland im Zeithorizont von 2013 bis 2040 (Adolf et al. 2015).

Die Anzahl der Neuzulassungen wird über Motorisierungsraten (Punktprognosen) abgeleitet, in die demographische und sozio-ökonomische Veränderungen detailliert eingehen. Nicht abgebildet werden hingegen Rückkopplungseffekte zwischen veränderten Antriebs-Kraftstoff-Konfigurationen und Pkw-Besitz und -Nutzung abgebildet. Kosten und Verbräuche neuzugelassener Pkw werden auf Basis der Kosten und Verbräuche des Bestandes und nicht bottom-up pro Fahrzeug berechnet. Über Auf- und Abschläge zur Referenz Ottoantrieb werden Kosten und Verbräuche aller betrachteten Antriebe berechnet. Somit kann der Einfluss der Kundenentscheidung auf die Emissionsreduktion nicht abgebildet werden. Die Entwicklung der Infrastruktur alternativer Antriebe ist nicht berücksichtigt. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar.

2.2.6 Marktmodellierung Elektromobilität (MMEM)

In der durch das BMU geförderten Studie „Marktmodellierung Elektromobilität“ (MMEM) wird eine Kopplung zwischen Discrete-Choice- und Diffusionsmodell genutzt, um die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen zu berechnen (ESMT 2011). Das Modell bildet das Verhalten der Hauptakteure im System der Elektromobilität ab. Neben den durch die Politik vorgegebenen Rahmenbedingungen und den Nutzern sind die Fahrzeughersteller, der Energiesektor und die Infrastrukturbetreiber mit ihren Wechselwirkungen untereinander berücksichtigt.

Der Ergebnisbericht (ESMT 2011) beschreibt das verwendete Modell nicht ausreichend, um den Ansatz vollständig nachvollziehen zu können. Die Autoren geben jedoch an, dass die Kaufentscheidung der modellierten Kunden diskret, nutzenmaximierend und unter Berücksichtigung der TCO erfolgt. Dem Modell selbst liegen keine SP-Befragungen zugrunde, vielmehr basieren die Zahlungsbereitschaften der Kunden für alternative Antriebe auf einer Meta-Analyse vorhandener SP-Befragungen. Die weiteren Nutzenattribute alternativer Antriebe sind geschätzt, wobei unklar ist, auf welche Weise dies geschieht. Den modellierten Kunden wird eine Auswahl von neun Antriebskonzepten in den elf Segmenten des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) gegenübergestellt. Vermutlich wird dann durch eine vorgegebene Wahrscheinlichkeitsfunktion für jeden Modellkunden die Auswahlwahrscheinlichkeit jeder Fahrzeugoption berechnet. Der Marktanteil jeder Fahrzeugoption wird auf Basis dieser Auswahlwahrscheinlichkeit und eines Bass-Diffusionsmodells hochgerechnet. Die Einzelheiten dieses hybriden Modells bleiben jedoch unklar: So wird die Kostendegression von Traktionsbatterien mit Hilfe von Lernkurven berechnet, jedoch nicht explizit erläutert, inwieweit hierfür Simulationsergebnisse als Input genutzt werden und somit eine dynamische Kostendegression realisiert wird. Technologiekosten und Verbrauchsminderungspotenziale sind nicht bottom-up berechnet. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar.

2.2.7 DEFINE

Ziel des durch die Europäische Union (EU) geförderten Projektes DEFINE war die Untersuchung ökonomischer Effekte einer erhöhten Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen in mehreren europäischen Ländern, darunter auch Deutschland (DEFINE 2014). Im Rahmen einer für Österreich durchgeführten Haushaltsumfrage wurden Präferenzen von Haushalten zu Kauf und Nutzung von Elektrofahrzeugen erhoben und ein diskretes Entscheidungsmodell geschätzt (Bahamonde-Birke und Hanappi 2016). DEFINE integriert diese Schätzungen in das Käufermodell von OPTUM (siehe Abschnitt 2.2), um das Marktpotenzial der Elektromobilität abzuschätzen. Mittels eines Diffusionsmodells wird dann die Marktentwicklung für Elektrofahrzeuge berechnet. Damit berücksichtigen die Autoren, dass die Vorhersage der Marktentwicklung nicht durch ein im Ist-Zustand kalibriertes Discrete-Choice-Modell ausgedrückt werden kann, da im Ist-Zustand der Marktanteil von Elektrofahrzeugen zu gering ist, um gültige Entwicklungen für die Zukunft vorherzusagen (Jensen et al. 2016). Insofern lässt sich die Vorgehensweise bei DEFINE gut als Ausgangspunkt für eine Modellentwicklung verwenden. Einzig das Emissionsreduktionspotenzial konventioneller Antriebe ist nur rudimentär abgebildet, da deren Entwicklung nicht bottom-up modelliert wird. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar.

2.2.8 DISCO

Kihm (2014) und Kihm und Trommer (2014) untersuchen mit dem am Institut für Verkehrsforschung des DLR entwickelten Modells DISCO (DISaggregated Car

Ownership) das Emissionsreduktionspotenzial von Elektrofahrzeugen bis ins Jahr 2030 für Deutschland. Den Ergebnissen liegen kostengetriebene Besitzentscheidungen der deutschen Bevölkerung auf Basis der MiD 2008 zugrunde. Dies ermöglicht den Einbezug spezifischer Nutzercharakteristika wie Wohnort und Mobilitätsverhalten sowie eine Unterscheidung der Fahrzeugnutzung, wobei zwischen den Besitzern von Privatfahrzeugen, Firmenwagen und rein gewerblichen Flotten unterschieden wird. Bei dem Modell handelt es sich um ein statisches *Discrete-Choice-Besitzmodell*, was zwei grundsätzliche Probleme mit sich bringt: (i) es wird eine sehr große Anzahl von Alternativen modelliert, welche zusätzlich auch noch stark korreliert sind; dadurch sind die Ergebnisse tendenziell instabil; (ii) die statische Besitzentscheidung ignoriert den evolutionären Charakter des Pkw-Marktes. Die von den Autoren getroffenen Schlussfolgerungen zu Auswirkungen von bspw. Einkommensänderungen auf den Pkw-Besitz wären nur dann gültig, wenn alle Haushalte im Betrachtungsjahr ihren Pkw-Besitz überdenken und anpassen würden; dies ist nicht realistisch.

Schließlich ist im Modell die Emissionsreduktion durch eine Substitution konventionell gefahrener durch elektrisch gefahrene Kilometer Gegenstand der Analyse. Dadurch werden die Verbesserung konventioneller Antriebe und die damit einhergehende Emissionsreduktion aller Neuzulassungen vernachlässigt. Zudem wird bei der Betrachtung der durch Elektrofahrzeuge substituierten Strecken der tatsächlich elektrisch gefahrene Streckenanteil von Hybridfahrzeugen nicht berücksichtigt. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar.

2.2.9 Modell von Kieckhäfer

Ziel des von Kieckhäfer (2013) und Kieckhäfer et al. (2014) entwickelten Modells ist die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Gestaltung zukünftiger Fahrzeugportfolios in der Automobilindustrie. Mittels agentenbasierter Modellierung werden Marktanteile auf Basis des Verhaltens individueller Agenten abgebildet. Dabei werden die Kaufentscheidungen der Agenten mittels eines *Discrete-Choice-Modells* abgebildet. Diese Entscheidungen beeinflussen das aggregierte Systemverhalten, welches – basierend auf dem Ansatz von Wansart und Schnieder (2010) – in einem systemdynamischen Simulationsmodell umgesetzt ist. Die Anzahl der Neuzulassungen ist exogen vorgegeben und das Modell berechnet die Marktdurchdringung der zur Auswahl stehenden Antriebsalternativen unter Berücksichtigung der Kaufentscheidung, der Entwicklung von Antriebstechnologien und der Infrastruktur. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar.

2.2.10 Modell von Plötz et al.

Die Arbeiten von Plötz et al. (2012) sind als Vorläufer des Modells ALADIN zu sehen. Die Autoren verwenden ein *TCO-Neuwagenkäufermodell* zur Abbildung des Neuwagenmarktes in Bezug auf verschiedene Antriebstechnologien. Mit dem *TCO-Modell* wird die Antriebswahl beim Neufahrzeugkauf deterministisch kostenminimierend bestimmt. Segmentabhängig werden die Marktanteile auf Basis von

Fahrleistungsverteilungen ermittelt. Die Daten für letztere stammen aus dem Deutschen Mobilitätspanel (MOP) und werden mit einer Log-Normalverteilung approximiert. Für die Hochrechnung auf den Fahrzeugbestand wurden die Bestandsstatistiken des KBA der Jahre 2001 bis 2009 ausgewertet. Die Daten aus den Jahren 2010 und 2011 wurden nicht herangezogen, um einen drastischen Verjüngungseffekt im Bestand aufgrund der Umweltprämie nicht in der Funktion abzubilden. Die gewonnene Funktion beschreibt die Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Fahrzeugalter und wurde mit einer Weibull-Verteilung approximiert. Ähnlich wie in den meisten anderen der vorgestellten Modelle findet eine Umschichtung der gebrauchten Fahrzeuge statt, die nach einem gewissen Alter mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit aus der Flotte ausscheiden. Eine Differenzierung der Kunden über die Fahrleistung und Fahrzeugsegmentierung hinaus wird nicht vorgenommen. Das Modell ist nicht öffentlich verfügbar.

2.2.11 Weitere Modelle

Neben den vorgestellten Modellen gibt es weitere Ansätze, die den deutschen Pkw-Bestand oder den deutschen Neuwagenmarkt hinsichtlich der Diffusion alternativer Antriebe beleuchten, z. B. das Roadmap-Modell⁸ des International Council on Clean Transportation (ICCT) und REMOVE⁹ von Transport and Mobility Leuven, welches durch die Europäische Kommission gefördert wurde. Das besondere an beiden Modellen ist, dass sie frei verfügbar und somit deutlich transparenter sind als alle anderen aufgeführten Modelle. Das Roadmap-Modell nimmt keine explizite Flottenmodellierung vor, sondern schätzt ähnlich der VP 2030 die Verkehrsnachfrage über Motorisierungsraten in Abhängigkeit von der Wirtschaftsentwicklung verschiedener Länder. REMOVE modelliert den Fahrzeugbestand relativ klassisch mittels eines Neuzulassungs-Umschichtungs-Modells; der Pkw-Absatz berechnet sich dabei über die Differenz zwischen der Anzahl von Fahrzeugen im Bestand und den Fahrzeugen, die nötig sind, um die Verkehrsnachfrage zu bedienen.

Mit einem nutzenbasierten Ansatz schlägt Redelbach (2016) eine Veränderung von VECTOR 21 vor, bei welcher der deutsche Pkw-Neuzulassungsmarkt modelliert wird, um die zukünftige technologische Entwicklung alternativer Antriebe und ihre wichtigsten Einflussfaktoren zu untersuchen. Die Kaufentscheidungen werden mittels eines Discrete-Choice-Modells abgebildet, das neben Kosten auch technische und ökologische Kriterien einbezieht. Für die Abbildung der Heterogenität der Nutzer in Bezug auf ihr Fahrverhalten und ihre Präferenzen beim Pkw-Kauf wird ein stochastischer Ansatz zur Generierung repräsentativer Käuferprofile (Agenten) genutzt. Die hierfür notwendigen Häufigkeitsverteilungen der relevanten Nutzercharakteristika innerhalb der Gesamtbevölkerung werden auf Basis empirischer Daten zum Mobilitäts- und Konsumverhalten abgeleitet (MiD 2008 und VerbraucherAnalyse 2012). Eine Berechnung

⁸ Siehe <http://www.theicct.org/global-transportation-roadmap-model>.

⁹ Siehe <http://www.tmluven.be/methode/tremove/home.htm>.

des Fahrzeugbestandes sowie die Zuordnung von Fahrzeugen zu den entsprechenden Käuferagenten werden allerdings nicht vorgenommen.

In den Pkw-Marktsimulationen von Weigl (2010) stehen einer heterogenen Käufergruppe von Neufahrzeugen verschiedene Antriebskonzepte zur Auswahl, die sich hinsichtlich ihrer ökonomischen Eigenschaften und Verwendung unterscheiden. Reichweite, Umweltverträglichkeit, die Verfügbarkeit von Infrastruktur und die angebotene Modellpalette sind neben den Fahrzeugkosten hierbei als Faktoren berücksichtigt. Der Bewertung der unterschiedlichen Antriebskonzepte liegen Expertenschätzungen zur Kosten- und Verbrauchsentwicklung zugrunde. Die Kundenentscheidung erfolgt nach Weigl nutzenorientiert und ist abhängig von deren Fahrleistung, was auf die Verwendung eines Discrete-Choice-Modells hindeutet. Die Werte für die Fahrleistungen werden der Literatur entnommen, eine Berücksichtigung realer Fahrprofile erfolgt nicht. Die Modellberechnungen sind auf den Pkw-Neuwagenmarkt beschränkt.

Im Ausland werden weitere Ansätze zur Modellierung des Pkw-Bestands verfolgt, auf die an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen werden kann. Es sei lediglich erwähnt, dass im deutschsprachigen Raum insbesondere Mueller und de Haan (2009) und de Haan et al. (2009) die Entwicklung vorangetrieben haben. Eine etwas ältere Übersicht über verschiedene Modelle geben de Jong et al. (2002) und de Jong et al. (2004).

2.3 SYNTHESE UND BEWERTUNG DER VORGESTELLTEN MODELLANSÄTZE

Die Auswertung der Literatur zeigt, dass etwa seit dem Jahr 2009 der deutsche Fahrzeugmarkt intensiv modelliert wird, vor allem im Hinblick auf die Abbildung des Neuwagenmarktes für alternative Antriebe. In Meta-Studien zu Marktmodellen für alternative Antriebe existieren bereits verschiedene Ansätze Modelle zum Zweck einer besseren Vergleichbarkeit zusammenzufassen (siehe z. B. Al-Alawi und Bradley 2013, Gnann und Plötz 2015, Gnann et al. 2017). Der Vergleich der dargestellten Modellansätze ist nur eingeschränkt möglich: Während ein Teil der Modelle auf die möglichst genaue Prognose des Fahrzeugabsatzes zielt, für die mögliche Rahmenbedingungen mit Wahrscheinlichkeiten belegt werden, untersuchen andere Modelle definierte Szenarien, die nicht selten die Bandbreite möglicher verschiedener Rahmenbedingungen widerspiegeln sollen.

Wie Abbildung 1 zeigt, modellieren zehn Modelle Konsumentenentscheidungen, fünf davon mittels eines agentenbasierten Ansatzes. Vier können als Diffusionsmodelle beschrieben werden, sechs sind als hybride Modelle zu bezeichnen. Diese sind in der gezeigten Übersicht mehrfach aufgeführt.

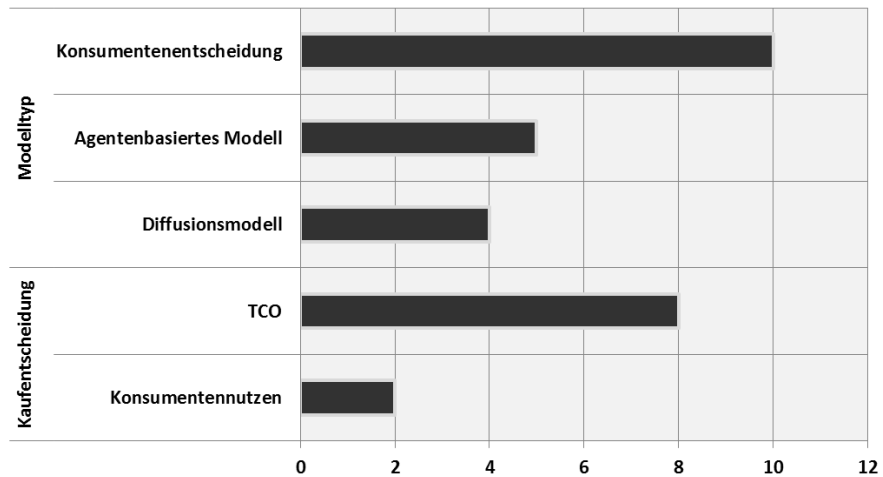


Abbildung 1: Übersicht der untersuchten Modelle nach Modelltyp und Art der modellierten Kaufentscheidung

Elf der betrachteten Modelle berechnen die Durchdringung von alternativen Antrieben für den Neuwagenmarkt (ca. 3 Mio. Pkw p. a.). Zehn Modelle bilden den Pkw-Bestand ab (ca. 45 Mio. Pkw in 2016). Acht der zehn Modelle simulieren sowohl den Neuwagenmarkt als auch den Bestand. Keines der Modelle berechnet die Zahl der jährlichen Neuzulassungen endogen, und auch die Interaktion zwischen Neu- und Gebrauchtwagenmarkt wird an keiner Stelle abgebildet.

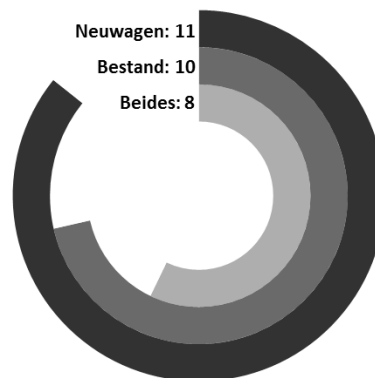


Abbildung 2: Überblick des Betrachtungsgegenstandes in den untersuchten Modellen

Bezüglich der Differenzierung von Fahrzeugnutzern gibt es verschiedene Aspekte, die in den genannten Modellen betrachtet werden. Lediglich sechs der Modelle unterscheiden gewerbliche oder private Haltergruppen. Zwei davon heben darüber hinaus hervor, ob gewerbliche Halter Pkw auch privat nutzen können (Dienstwagen).

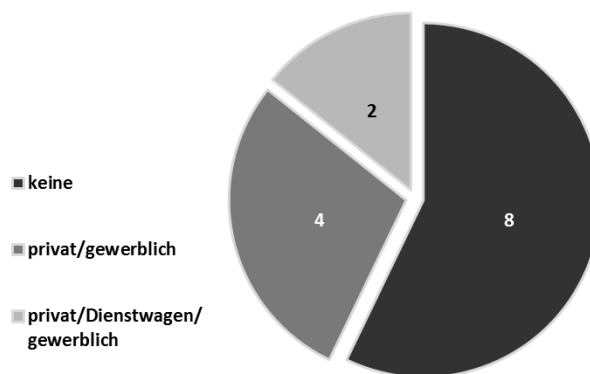


Abbildung 3: Überblick der Differenzierung in Haltertypen in den untersuchten Modellen.

Ein weiterer Aspekt der Nutzerdifferenzierung betrifft die Abbildung der Jahresfahrleistung im Modell. Dies gilt insbesondere für die Modelle mit TCO-basierter Kaufentscheidung, da die variablen Kosten maßgeblich durch die Laufleistung bestimmt werden. Jedoch werden in nur wenigen der Studien detaillierte Angaben zur Differenzierung der Nutzer nach Laufleistung gemacht, sodass ein entsprechender Vergleich nicht möglich ist. Darüber hinaus werden in fünf Modellen die Nutzer nach regionaler Herkunft oder Raumtyp ihres Wohnortes differenziert. Keines der untersuchten Modelle kann jedoch regional spezifische Regulierungen wie Umweltzonen abbilden. Obwohl soziodemographische Informationen verfügbar wären, vernachlässigen die meisten der betrachteten Modelle eine detailliertere Abbildung der Nachfrageseite (z. B. Alterung, Führerscheinbesitz, Präferenzänderungen). Bestenfalls fließen demografische Trends in die Berechnung der verwendeten Motorisierungsrate mit ein (siehe z. B. Adolf et al. 2014).

Angebotsseitig nutzen fünf der vierzehn Modelle die unter Abschnitt 2 beschriebene Verknüpfung von Absatzmenge, Produktions- und Produktkosten mit Hilfe von Lernkurven. Hinsichtlich der Detaillierung der Fahrzeugtechnologien bleibt die Mehrheit der Studien vage. Eine Bottom-up-Abbildung der Fahrzeugtechnologien unter Berücksichtigung zukünftiger Effizienztechnologien findet sich lediglich in den Arbeiten von Mock (2010) und Redelbach (2016).

Durch den starken Fokus auf Antriebsstränge berücksichtigt keines der untersuchten Modelle die möglichen Wirkungen neuer Mobilitätskonzepte (z. B. hervorgerufen durch

zunehmende Automatisierung und Vernetzung). In keinem der gelisteten Modelle ist eine Schnittstelle oder Kopplung zu einem Verkehrsmodell vorgesehen, um die Fahrleistung der Nutzer im Zusammenhang konkurrierender Verkehrsträger zu untersuchen. Des Weiteren ist keines der Modelle öffentlich verfügbar (open source), was einen Vergleich der Ergebnisse deutlich erschwert.

Zusammenfassend lassen sich folgende Lücken in der deutschen Modelllandschaft identifizieren:

- Anzahl der Neuzulassungen ist immer eine exogene Variable (z. B. über Motorisierungsraten)
- Rückkopplung zwischen Gebrauchtwagen- und Neuwagenmarkt fehlt (verschiedene Käufertypen)
- Regionalisierung lediglich als Variable (z. B. keine Abbildung der Auswirkungen lokaler Regulierungen möglich)
- Fokus auf Antriebsstränge; Wirkung neuer Mobilitätskonzepte bisher nicht abgebildet (z. B. autonome private Pkw oder autonomes Carsharing)
- Keine öffentliche Verfügbarkeit der Modelle (open source)

3. Vorstellung eines evolutionären Modellansatzes

Im Folgenden wird das Konzept eines neuen Modells erläutert, welches einige der identifizierten Lücken schließen soll und die Abbildung der evolutionären Diffusion von Fahrzeugtechnologieinnovationen und damit der Entwicklung des Pkw-Bestandes in Deutschland ermöglichen soll. Zunächst werden verschiedene Datenquellen vorgestellt und bewertet, die prinzipiell als Modellinput in Frage kommen. Anschließend wird der Modellaufbau präsentiert und abschließend werden Herausforderungen für die Modellbildung identifiziert und erste Lösungsansätze vorgeschlagen.

3.1 VERFÜGBARE DATEN

3.1.1 Fahrzeugstatistiken des Kraftfahrtbundesamtes (KBA)

Das KBA veröffentlicht auf seiner Webseite¹⁰ verschiedene amtliche Statistiken über alle nach der Fahrzeugzulassungsverordnung in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge. Das Datenangebot umfasst bspw. Neuzulassungen, Bestand und Besitzumschreibungen. Dabei wird u. a. zwischen privat und gewerblich zugelassenen Fahrzeugen unterschieden, allerdings nicht erhoben, wie die Fahrzeuge tatsächlich genutzt werden. Dies ist für das zu entwickelnde Modell insbesondere in Bezug auf Dienstwagen problematisch, da unklar ist, welche gewerblich zugelassenen Pkw (überwiegend) privat genutzt werden. Detaillierte

¹⁰ Siehe <http://www.kba.de>.

Sonderauswertungen können beim KBA kostenpflichtig bestellt werden. Nachteilig ist die fehlende Verknüpfung der Fahrzeugdaten mit ergänzenden Informationen über die Halter (Haushalte oder Unternehmen), wodurch die Betrachtung sozio-ökonomischer Einflussfaktoren nicht möglich ist.

3.1.2 Mobilität in Deutschland (MiD)

Da es sich bei dem zu entwickelnden Modell um ein nationales Pkw-Bestandsmodell handelt, wird die MiD¹¹ als größte deutschlandweite Mobilitätserhebung des Personenverkehrs als Datengrundlage in Erwägung gezogen, auch weil sie von mehreren der vorgestellten Modelle verwendet wird.¹² Sie wurde 2002 und 2008 erhoben und ab 2018 wird eine weitere Erhebung diese Zeitreihe fortsetzen. Der Datensatz bietet u. a. detaillierte Angaben zu den in einem Haushalt vorhandenen Fahrzeugen. Zudem werden auch gewerblich zugelassene, jedoch überwiegend oder ausschließlich privat genutzte Fahrzeuge (Dienstwagen) erfasst, was den Abgleich mit den Daten des KBA schwierig macht. Die Daten sind über die Clearingstelle Verkehr des DLR verfügbar.¹³

3.1.3 Deutsches Mobilitätspanel (MOP)

Auch das MOP¹⁴ wird von einigen der vorgestellten Modelle verwendet, z. B. zur Ableitung von Fahrprofilen, die durch ein Elektroauto ersetzt werden können. Der Vorteil gegenüber der MiD ist, dass es sich um eine seit 1994 jährlich wiederholte Befragung von Haushalten über Mobilitätsverhalten im Alltag (keine Urlaubszeiten) und Pkw-Nutzung handelt, die sich im Gegensatz zum Stichtag der MiD auf eine gesamte Woche beziehen. Somit können Trends besser erforscht und mehrere Jahrgänge für Analysen des Autobesitzes zusammengefasst werden (siehe z. B. Woldeamanuel et al. 2009). Allerdings bleiben Haushalte maximal drei Jahre im Panel, so dass eine Längsschnittbetrachtung über Pkw-Käufe und -Verkäufe nicht möglich ist, da die durchschnittliche Haltedauer von Pkw zwischen 4 und 10 Jahren liegt. Ein weiterer Nachteil ist der im Vergleich zur MiD deutlich geringere Stichprobenumfang, was z. B. Hochrechnungen schwierig und räumliche Differenzierungen unmöglich macht. Die Daten sind ebenfalls über die Clearingstelle Verkehr des DLR verfügbar.¹⁵

¹¹ Siehe <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de>.

¹² Die sehr ähnliche Mobilitätserhebung „System repräsentativer Verkehrsverhaltensbefragungen“ (SrV) konzentriert sich auf die Mobilität der städtischen Wohnbevölkerung und scheint deshalb nicht als Datengrundlage für ein bundesweites Modell geeignet.

¹³ Siehe <http://daten.clearingstelle-verkehr.de>.

¹⁴ Siehe <http://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu>.

¹⁵ Siehe <http://daten.clearingstelle-verkehr.de>.

3.1.4 Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS)

Die EVS¹⁶ wird alle fünf Jahre vom Statistischen Bundesamt erhoben (z. B. 1998, 2003, 2008, 2013). Privater Haushalte werden gebeten, detailliert über ihre finanzielle Situation, die Ausstattung mit Gebrauchsgütern sowie ihre Konsumausgaben zu berichten. In Bezug auf Mobilitätskosten werden z. B. Ausgaben für Treibstoff, Kfz-Versicherung oder den Kauf von Kraftfahrzeugen erhoben. Anders als in den typischen Mobilitätshebungen fehlen jedoch mobilitätsrelevante Variablen wie z. B. Führerscheinbesitz. Die Daten sind über die Forschungsdatenzentren der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder kostenpflichtig verfügbar.¹⁷

3.1.5 Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (KiD)

Im Gegensatz zur MiD erhebt die KiD¹⁸ (2002 und 2010) sowohl den Wirtschafts- als auch den Privatverkehr über das zentrale Fahrzeugregister des KBA. Datengrundlage sind also die Fahrzeuge und nicht die Haushalte. Dabei wird ebenfalls zwischen privaten und gewerblichen Haltern unterschieden, allerdings finden sich auch hier keine Informationen darüber, ob es sich bei den gewerblich zugelassenen Fahrzeugen um Dienstwagen handelt, die auch oder überwiegend privat genutzt werden. Die Daten sind über die Clearingstelle Verkehr des DLR verfügbar.¹⁹

3.1.6 Weitere Informationsquellen

Über die oben genannten Datenquellen hinaus gibt es weitere Untersuchungen und Berichte, die für eine Modellentwicklung relevant sein könnten:

- Die Deutsche Automobil Treuhand (DAT) gibt einen jährlichen Bericht heraus, der mittels einer Befragung von knapp 4.000 Privatpersonen deren Autokauf und Werkstattverhalten analysiert (DAT 2017). Gewerblich zugelassene Fahrzeuge werden nicht berücksichtigt. Der Datensatz ist nicht frei verfügbar.
- Die Firma Dataforce20 verwendet die Fuhrparkdatenbank FleetBase und detaillierte, kostenpflichtige Daten des KBA für Analysen des Automobil- und Flottenmarktes in Deutschland. Mittels dieser Daten wurde im Rahmen des Projektes ‚Renewbility III‘ eine sehr detaillierte Abbildung der Neuzulassungen nach Haltergruppe möglich (Zimmer et al. 2016, S. 51). Allerdings sind auch diese Daten nicht öffentlich verfügbar.

¹⁶ Siehe https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Met/hoden/Einkommens_Verbrauchsstichprobe.html.

¹⁷ Siehe <http://www.forschungsdatenzentrum.de/bestand/evs/index.asp>.

¹⁸ Siehe <http://www.kid2010.de>.

¹⁹ Siehe <http://daten.clearingstelle-verkehr.de>.

²⁰ Siehe <http://www.dataforce.de>.

- Für die bessere Abbildung der Verschrottung von Fahrzeugen schlagen Mehlhart et al. (2011) vor, zwischen einer Ausflottungsrate und einer Verschrottungsrate zu unterscheiden. Erstere beinhaltet letztere, aber eben auch ins Ausland ausgeführte Fahrzeuge. Um eine bessere Datenbasis zu schaffen wäre u. a. eine Analyse von Statistiken des Zolls sowie der Abfallwirtschaft hilfreich. Inwieweit solche Daten verfügbar wären, müsste erst noch geprüft werden.

3.2 MODELLAUFBAU

3.2.1 Verwendete Datengrundlage

Für das aufzubauende Modell wird als Hauptdatenbasis die MiD 2008 verwendet. Sowohl für ein *evolutionäres Längsschnittmodell* (bei dem die Fahrzeuge im Zeitverlauf verfolgt werden können) als auch für ein *Fixpunktmodell* (bei dem die Fahrzeuge den Haushalten im Zeitverlauf immer wieder neu zugeordnet werden) ist die Verbindung zwischen Haushalts- und Fahrzeugeigenschaften zwingend notwendig.²¹ Dies ist bei den meisten anderen der vorgestellten Datenquellen nicht gegeben. Auch ist häufig der Stichprobenumfang zu gering, um ein deutschlandweites Käufermodell abzuleiten oder diese Informationen sind aufgrund der Nichtverfügbarkeit der Datengrundlage nicht überprüfbar. Andere der Quellen beziehen sich lediglich auf den Neuwagenmarkt und enthalten nur wenige oder gar keine Informationen über den Pkw-Bestand.

Ein weiterer Grund für die Wahl der MiD ist, dass das aufzubauende Modell möglichst auf *frei verfügbaren* und vor allem *regelmäßig aktualisierten Daten* aufsetzen soll, sodass es in Zukunft (i) relativ einfach aktualisiert und (ii) von Dritten genutzt werden kann.²² Ergänzt wird der zum Modellaufbau verwendete Datenbestand durch andere der erwähnten Datenquellen. Dies wird an den relevanten Stellen im weiteren Verlauf explizit erwähnt.

3.2.2 Ziele und Struktur

Das Hauptziel des hier vorgestellten Pkw-Bestandsmodells ist es, typische Pfade für Fahrzeuge im Verlauf ihres Lebenszyklus aufzuzeigen, z. B. welche Fahrzeuge mit welchen Eigenschaften tendenziell bei welchen Haushaltstypen gehalten werden und wann sie von diesen wieder abgestoßen werden. Zudem soll das Modell reagibel auf Änderungen der sozio-ökonomischen Eigenschaften der Haushalte sein, wobei die Anzahl der Neuzulassungen und Halterwechsel nicht als Eingangsgrößen in das Modell eingehen, sondern ein Modellierungsergebnis darstellen soll. Vor diesem Hintergrund bietet sich die Modellierung von Haushalten als Akteure über die Zeit an. Dies resultiert – im Gegensatz

²¹ Für weitere Details zu den verschiedenen Modellansätzen siehe Abschnitt 3.2.

²² Einschränkend ist hier zu erwähnen, dass bei der sich aktuell im Feld befindlichen MiD 2016 wohl Änderungen bzgl. der Fahrzeugstatistik zu erwarten sind, da nur noch ein Teil der Haushalte detailliert über die im Haushalt vorhandenen Fahrzeuge berichtet.

zu Zustandsmodellen – in einem evolutionären Ansatz, bei dem sich der Fahrzeugbestand nur langsam über die Jahre verändert und Technologieinnovationen somit auch nur langsam in den Markt diffundieren können.

Abbildung 4 zeigt die zweiteilige Modellstruktur des neuen Pkw-Bestandsmodells. Auf der einen Seite werden mittels eines evolutionären Modells alle Transaktionen auf dem Neu- und Gebrauchtwagenmarkt simuliert. Demographische Veränderungen und Trends werden nicht an dieser Stelle berücksichtigt, sondern stattdessen im parallel laufenden Fixpunktmodell (siehe Abschnitt 3.3.3). Für die Kaufentscheidung wird ein Discrete-Choice-Modell auf Basis der MiD 2008 geschätzt, welches für jeden Haushalt die Wahrscheinlichkeit eines Pkw-Kaufs auf Basis der im Jahr 2007 erworbenen Pkw berechnet.

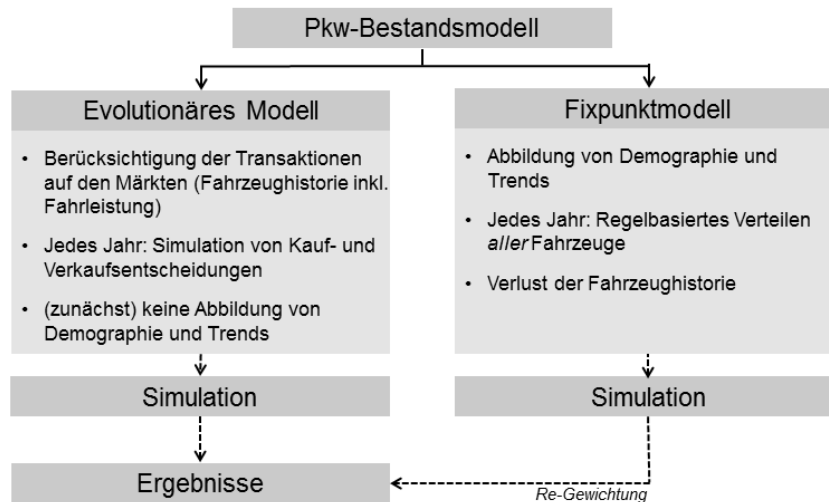


Abbildung 4: Zweiteilige Modellstruktur des Pkw-Bestandsmodells.

Abbildung 5 zeigt auf der linken Seite (A) die im Modell zur Verfügung stehenden vier Alternativen der ersten Stufe:

- Wahl 0: kein Kauf
- Wahl 1: Kauf Pkw gebraucht, Zulassung privat
- Wahl 2: Kauf Pkw neu, Zulassung gewerblich
- Wahl 3: Kauf Pkw neu, Zulassung privat

Welchen Pkw-Typ der Haushalt erwirbt, wird in einem zweiten Schritt (B) ermittelt, wobei hier die Variablen Größenklasse, Antrieb (und später Automatisierungsgrad) sowie die jeweiligen Investitions- und variablen Kosten eingehen.

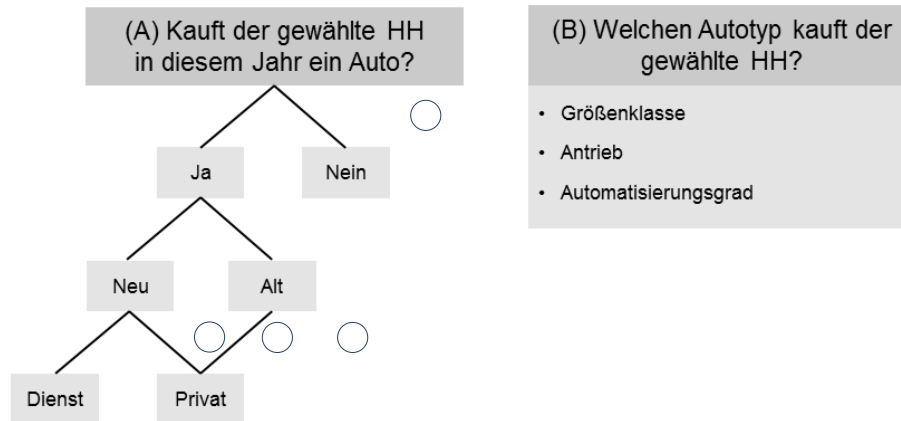


Abbildung 5: Zweistufige Abbildung der Kaufentscheidung im evolutionären Modell.

3.3 HERAUSFORDERUNGEN

3.3.1 Ermittlung von Haltedauern, Kopplung Kauf-Verkauf, Gebrauchtwagenmarkt

In der Realität ist die Entscheidung für den Erwerb eines Pkw meist im Zusammenhang mit einem Pkw-Verkauf oder einer Verschrottung zu beobachten. So sind 72 % der Gebrauchtwagenkäufer Wiederbeschaffungskäufer, bei Neuwagenkäufern sind dies sogar 85 % (DAT 2017, S. 43). Demnach sollte die Kaufwahrscheinlichkeit abhängig von der Verkaufsentscheidung modelliert werden. Da hierfür jedoch keine empirischen Daten zu Verfügung stehen, werden Kauf- und Verkaufsentscheidung im Modell separat betrachtet: Die Kaufentscheidung wird über ein diskretes Wahlmodell abgebildet (siehe Abschnitt 3.2.2). Die Verkaufs- oder Verschrottungsentscheidung wird über Haltedauerverteilungen der drei Käufertypen (1) privater Gebrauchtwagenkäufer, (2) gewerblicher Neuwagenkäufer und (3) privater Neuwagenkäufer abgebildet. In Anlehnung an DAT (2017) werden für (1) und (3) die durchschnittlichen Haltedauern von 77 Monaten (6,42 Jahre) und 122 Monaten (10,17 Jahre) herangezogen und durch den Erwartungswert einer Exponentialverteilung beschrieben (siehe Abbildung 6). Für (2) wird eine durchschnittliche Haltedauer von 3,92 Jahren angenommen.²³

²³ Redelbach (2016, Anhang C) leitet in seinem Ansatz die Verteilung der Haltedauern von der Verteilung der Besitzdauern zum Befragungszeitpunkt ab. Dies funktioniert methodisch relativ gut, allerdings sind dabei (i) die ungleiche Anzahl der Neuzulassungen in allen vergangenen Jahren zu korrigieren und (ii) die Wahrscheinlichkeit der tatsächlichen Haltedauer für die Zuordnung zu den Jahresintervallen zu berücksichtigen. Ohne diese Anpassungen ergäbe die MiD-Datenbasis u. a. eine starke Unterschätzung der in

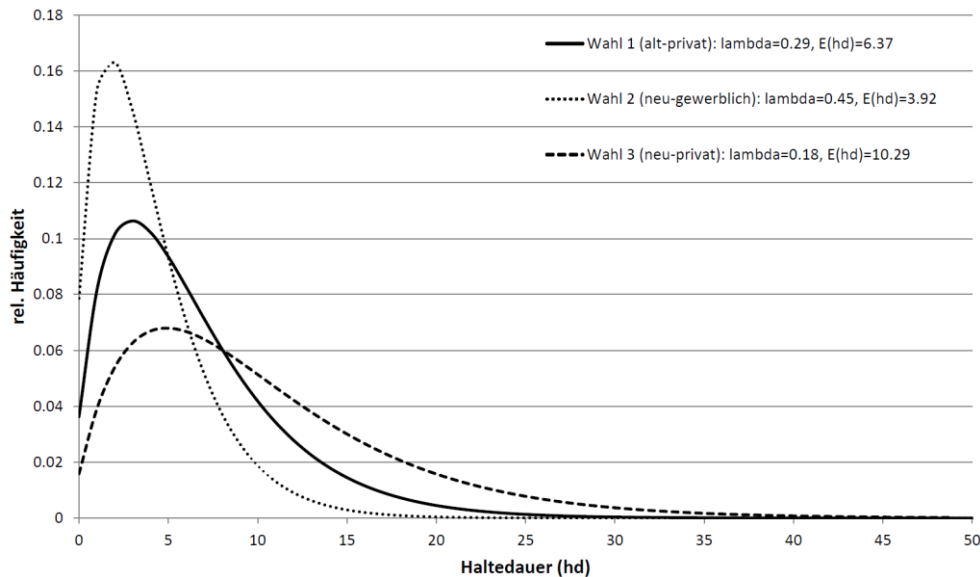


Abbildung 6: Haltedauerverteilung in den verschiedenen Märkten.²⁴

Verschrottungsfunktionen werden üblicherweise als Weibull-Verteilungen in Abhängigkeit vom Fahrzeugalter approximiert (siehe z. B. Plötz et al. 2013; Plötz et al. 2014). Etwas exakter wäre eine Verschrottung oder Ausflottung basierend auf Alter und Laufleistung des Fahrzeugs. Der hier gewählte Ansatz ließe dies prinzipiell zu, nur dass bereits die Haltedauerverteilung das Abstoßen eines Fahrzeugs beschreibt und dieses, falls es über eine bestimmte Zeit nicht wieder einen neuen Abnehmer findet, verschrottet oder ins Ausland exportiert wird. Eine explizite Verschrottungsfunktion wäre in diesem Falle also nicht nötig.

Für die Modellierung der Markträumung des kapazitätsbeschränkten Gebrauchtwagenmarktes, wären empirische Daten zu den Transaktionen nötig, die bislang nicht vorliegen. Nur mit solchen Daten könnte eine Zweitpreisauktion implementiert werden, wobei Nutzenfunktionen (sofern in Geldeinheiten definiert) die maximale Zahlungsbereitschaft eines Haushalts ausdrücken würden. Dies ließe prinzipiell eine Rückkopplung des Gebrauchtwagenmarktes auf den Neuwagenmarkt zu.

2008 zugelassenen Fahrzeuge, was zu unplausiblen Schätzern und damit zu unplausiblen Durchschnittshaltedauern führte. Aus diesem Grund wurde für das evolutionäre Modell die Beschreibung der Haltedauern über die genannten DAT-Durchschnittswerte und dazu passende Exponentialverteilungen der Besitzdauern gewählt.

²⁴ Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Durchschnittshaltedauern von DAT (2017) unter Annahme von Exponentialverteilungen der Besitzdauern.

3.3.2 Korrektur Hochrechnung MiD 2008, private und gewerbliche Halter

Die originale Hochrechnung des MiD-Datensatzes führt zu zweierlei Herausforderungen: Zum einen ist eine Aufteilung des Bestandes und der Neuzulassungen auf die Nutzersegmente „privat“, „Dienstwagen“ und „rein gewerblich“ nicht ohne weiteres möglich, zum anderen ist die Anzahl der hochgerechneten Pkw nicht korrekt.

Wie auch das KBA unterscheidet die MiD in privat und gewerblich zugelassene Fahrzeuge.²⁵ Die gewerblich zugelassenen Fahrzeuge der MiD sind überwiegend (privat genutzte) *Dienstwagen* und machen ca. 9 % der Pkw aus. Die übrigen 91% sind *privat* zugelassen und werden vermutlich überwiegend privat genutzt. Über die Randsummen der KBA-Zulassungsstatistik lässt sich prinzipiell der Anteil der *rein gewerblich* genutzten Pkw ermitteln, welche aufgrund der Fokussierung auf Privathaushalte nicht in der MiD berücksichtigt sind. Wie Abbildung 7 zeigt, wurde diese Berechnung anhand der Haushaltshochrechnungsfaktoren und des Fahrzeugdatensatzes der MiD 2008 für die Neuzulassungen in 2008 durchgeführt. In den jährlichen Neuzulassungen nach KBA (2017c) ist zu erkennen, dass ca. 60 % der Neuzulassungen gewerbliche Zulassungen sind (1,85 von 3,09 Millionen Pkw) und die restlichen 40 % direkt von Privatpersonen zugelassen werden. Die Abschätzung über eine Kreuzung mit MiD-Daten zeigt, dass etwa 23 % aller Neuzulassungen Dienstwagen sind (0,71 von 3,09 Millionen Pkw), womit der reale Anteil privat genutzter Fahrzeuge auf 63 % steigt und der rein gewerbliche Anteil auf 37 % sinkt.²⁶ Nimmt man darüber hinaus an, dass ca. 25-35 % der Neuzulassungen von Autoherstellern und Händlern selbst zugelassen werden (KBA 2012) und innerhalb eines Jahres als *junge Gebrauchte* an Privathaushalte weiterverkauft werden, reduziert sich der tatsächlich rein gewerbliche Anteil auf 2-12 %. Dies impliziert auch, dass in Deutschland mit ca. 33 % ein erheblicher Anteil der Pkw-Neuzulassungen als Besitzumschreibungen doppelt gezählt wird, das erste Mal als Neuzulassung der Hersteller und Händler und das zweite Mal als Besitzumschreibung auf meist private Kunden, die häufig ein neuwertiges Auto mit sehr geringer Fahrleistung zu einem geringeren Preis kaufen.

²⁵ Konzeptionell unterscheidet die MiD 2008 zwischen privaten und sonstigen Zulassungen. Für etwa 20% der Fahrzeuge liegt diese Information jedoch nicht vor, da sie über eines der möglichen Befragungsinstrumente – den rein schriftlichen Haushaltsfragebogen (PAPI – Paper-and Pencil) nicht abgefragt wurde. Dies stellt so lange kein Problem dar, wie die Verteilung zwischen privaten und gewerblichen Zulassungen in den zwei Teilmengen nicht signifikant unterschiedlich ist.

²⁶ Diese Abschätzung ist aufgrund eines im nächsten Absatz beschriebenen Problems bzgl. der Hochrechnungsfaktoren möglicherweise instabil.

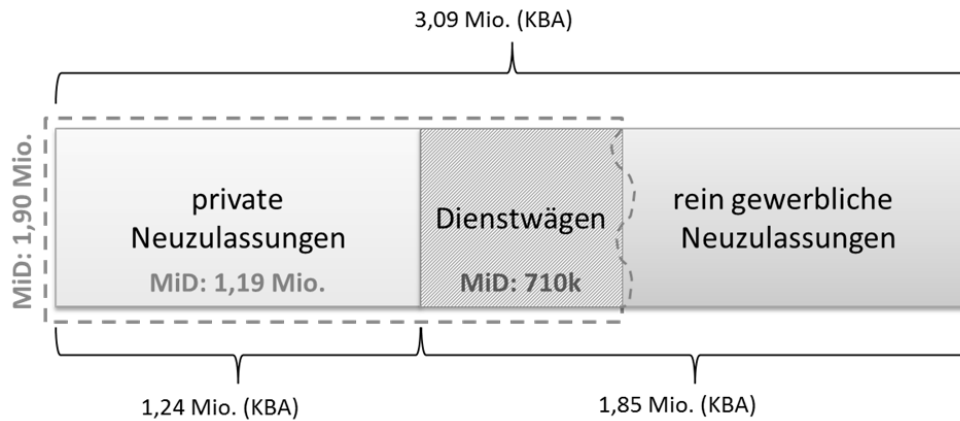


Abbildung 7: Abschätzung der Aufteilung der Neuzulassungen 2008 nach den Typen „privat“, „Dienstwagen“ und „rein gewerblich“.²⁷

Ein Problem mit den originalen Hochrechnungsfaktoren der MiD ergibt sich aus dem Vergleich mit den KBA-Daten: Rechnet man die Anzahl der Pkw über den Haushaltsdatensatz der MiD mit den Hochrechnungsfaktoren der Haushalte hoch, übersteigt die berechnete Zahl (ca. 46 Mio.) die beim Kraftfahrtbundesamt als vom KBA ausgewiesene Zahl zugelassener Pkw von ca. 41 Mio. deutlich. Die Hochrechnung über den MiD-Fahrzeugdatensatz (es werden nur bis zu drei Pkw je Haushalt erfasst) und die gebildeten Fahrzeuggewichte ergibt in der Summe genau die KBA-Bestandszahl. Dies ist auf einen Fehler bei der Bestimmung der Hochrechnungsfaktoren des Fahrzeugdatensatzes zurückzuführen, bei der die rein gewerblich genutzten Fahrzeuge nicht berücksichtigt wurden. Dies bedeutet aber auch, dass die Häufigkeitsverteilung von Pkw je Haushalt in der MiD nicht korrekt sein kann, da der Erwartungswert „Anzahl Pkw je Haushalt“ zu hoch für den tatsächlichen Bestand ist (vgl. Tabelle 1).

²⁷ Quelle: eigene Analysen auf Basis der MiD 2008 und KBA (2017c) für 2008.

| | MiD 2008 | EVS 2008 | KBA 01.01.2009 |
|--|----------|----------|----------------|
| 0 Pkw [%] | 17,81 | 22,31 | NA |
| 1 Pkw [%] | 52,97 | 55,59 | NA |
| 2 Pkw [%] | 24,17 | 19,24 | NA |
| 3+ Pkw [%] | 5,05 | 2,86 | NA |
| (approx.) Erwartungswert [Pkw/Haushalt] | 1,16 | 1,0265 | NA |
| Anzahl Haushalte [Mio] | 39,73 | 39,41 | NA |
| Anzahl Pkw [Mio] | 46,27 | 40,45 | NA |
| Anzahl rein gewerblicher Pkw [Mio] ²⁸ | 1,70 | 1,70 | NA |
| Summe Pkw [Mio] | 47,97 | 42,15 | 41,32 |

Tabelle 1: Anzahl Pkw je Haushalt nach verschiedenen Datenquellen.

Damit sowohl die Gesamtzahl der Pkw in Deutschland im Ausgangszustand 2008 als auch die Verteilung der Anzahl Pkw je Haushalt richtig zu treffen, muss der Datensatz der MiD neu gewichtet werden. Dies wird einerseits über die Korrektur der Hochrechnungsfaktoren für den Ausgangszustand in 2008 mittels eines Iterative Proportional Fitting (IPF)-Ansatzes gelöst, wobei folgende Verteilungen berücksichtigt werden:

- Anzahl der Haushalte je Raumtyp (urban, suburban, ländlich)
- Anzahl der Personen je Haushalt
- Anzahl der Pkw je Haushalt

Die ersten beiden Zielverteilungen stammen aus dem Zensus 2011 (Destatis 2011), letztere, wie in Tabelle 1 dargestellt, aus der EVS 2008²⁹.

²⁸ Eigene Berechnungen auf Basis von Dieckmann et al. (2011).

²⁹ Siehe https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Methoden/Einkommens_Verbrauchsstichprobe.html.

3.3.3 Abbildung der demographischen Entwicklung und mobilitätsrelevanter Trends

Dem in Abschnitt 3.2 beschriebenen Ansatz einer Modellierung auf Haushaltsbasis steht ein Mangel an Daten zur demographischen Bevölkerungsentwicklung und zur zeitlichen Entwicklung mobilitätsrelevanter Trends (z. B. Führerscheinbesitzquoten im Zeitverlauf) entgegen. Üblicherweise sind in Bevölkerungsvorhersagen wie z. B. jener des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) nur Randsummen bekannt (z. B. zur voraussichtlichen Verteilung der Haushaltsgrößen im jeweiligen Prognosejahr). Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den verschiedenen Haushaltstypen, z. B. durch Eheschließung, Geburt oder Trennung fehlen. Das MOP stellt zwar im Prinzip Daten bereit, die Pkw-Anschaffungs- und Abschaffungsentscheidungen an solche Lebensereignisse koppeln, allerdings sind die Fallzahlen dort sehr gering, insbesondere dann, wenn man nach Pkw-Antrieben und Größenklassen differenzieren will.

Als Ausweg bietet sich an, die Haushalte im Modell nicht fortzuschreiben, sondern die Haushaltsstrukturen während des simulierten Zeitraums konstant zu lassen. Alternativ könnte man die Haushalte für jedes Jahr neu erzeugen und ihnen die Fahrzeuge in jedem Jahr neu zuteilen. Dazu müsste der in der MiD verwendete Hochrechnungsfaktor zur Bestimmung der Anzahl der Haushalte in der Grundgesamtheit für jedes Jahr neu erzeugt werden. Ersteres hätte den Vorteil, dass eine Längsschnitorientierung des Modells beibehalten werden könnte, allerdings ohne Abbildung der demographischen Entwicklung und weiterer mobilitätsrelevanter Trends. Erzeugte man die Haushalte jedes Jahr mit aktualisierten Hochrechnungsfaktoren neu, könnte man beides abbilden, würde allerdings die Analysemöglichkeiten des Modells stark einschränken. Dieser Nachteil wird im hier vorgestellten Modell durch eine Zweiteilung behoben, welche versucht, beide Lösungen zu integrieren: Auf der einen Seite werden Haushaltsstrukturen konstant gelassen (evolutionäres Modell), parallel werden jedoch jährlich neue Hochrechnungsfaktoren je Haushalt berechnet (Fixpunktmodell). Am Ende der Simulation werden die Ergebnisse zusammengeführt, wodurch die Effekte demographischer Veränderungen und mobilitätsrelevanter Trends separat von jenen der Kaufverhaltensänderungen der Ausgangspopulation analysiert werden können.

3.3.4 Regionalisierung

Im Rahmen des Modellaufbaus wird auch eine Regionalisierung getestet. Differenziert nach Region werden die Effekte möglicher regionaler Regulierungen wie z. B. (Ein-)Fahrverbote oder City-Maut auf den Fahrzeugkauf und -bestand abgeschätzt. Dazu werden regional aufgelöste KBA-Daten in das Modellsystem von VECTOR21 integriert. Neben der Berücksichtigung überregionaler CO₂-Regulierungen kann so beispielsweise die Auswirkung lokaler Regulierungsmaßnahmen zur Luftreinhaltung auf die Marktanteile alternativer Antriebskonzepte untersucht werden. Im Allgemeinen hängt die Wirksamkeit lokaler Regulierungsmaßnahmen stark von der Anzahl betroffener Fahrzeuge ab. Der im Modell VECTOR21 verwendete Ansatz zur Regionalisierung stützt sich daher auf die offiziellen Fahrzeugstatistiken des KBA sowie auf Pendlerstatistiken, um die Anzahl der

von einer lokalen Regulierung betroffenen Fahrzeuge auf einer räumlich differenzierten Ebene zu berechnen. Mittels eines in einem geografischen Informationssystem implementierten Gravitationsmodells wird die Auswirkung von Einfahrverboten in spezifischen Regionen auf die umliegenden Regionen berechnet.

4. Zusammenfassung

Gegenstand des vorliegenden Artikels sind in Deutschland genutzte Modelle, welche die Vorhersage der Entwicklung des deutschen Pkw-Bestandes unter Berücksichtigung verschiedener technologischer und (verkehrs-)politischer Rahmenbedingungen zum Ziel haben. Sowohl der Fahrzeugbestand als auch die Pkw-Verfügbarkeit in Haushalten, die sich aus dynamischen Einzelentscheidungen der Verbraucher und aus realisierten Technologiepfaden ergibt, stellen wichtige Eingangsgrößen für viele Verkehrsmodelle dar, die zur Infrastrukturplanung verwendet werden.

4.1 IDENTIFIZIERTE LÜCKEN IN DER MODELLLANDSCHAFT

Es wurde eingangs gezeigt, dass es auf Bundesebene kein Modell gibt, welches in der Lage ist, den Einfluss sich verändernder technologischer und (verkehrs-)politischer Rahmenbedingungen auf Pkw-Besitz und Nutzung vorherzusagen. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden von verschiedenen Forschungsinstituten Modelle entwickelt, die vorgestellt und verglichen wurden. Die dabei identifizierten Lücken in der Modelllandschaft beinhalten unter anderem, dass alle betrachteten Modelle die Anzahl der Neuzulassungen als exogene Variable benötigen, z. B. über eine Vorhersage der Motorisierungsraten. Bei ähnlich hohen Verschrottungs- und Exportraten ergibt sich daraus implizit ein stabiler Bestand. Es geht bei den bestehenden Modellen also in erster Linie um die Aussage, *welche Art* von Fahrzeugen zugelassen wird, nicht um deren *Anzahl*. Außerdem fehlt den Modellen eine Rückkopplung zwischen Gebrauchtwagen- und Neuwagenmarkt, auf denen verschiedene Käufertypen mit verschiedenen Anforderungen agieren. Dies ist insofern kritisch zu beurteilen, weil neue Technologien sich nicht nur auf dem Neuwagenmarkt (und bei deren Nutzern mit spezifischen Einsatzmustern) durchsetzen müssen, sondern auch auf dem nachgelagerten Gebrauchtwagenmarkt. Würden sie sich dort nicht durchsetzen, würde dies direkt den Wiederverkaufswert beeinflussen. Generell ist der Gebrauchtwagenmarkt bislang wenig untersucht, insbesondere der Übergang von Neufahrzeugen in den Gebrauchtwagenmarkt. Darüber hinaus fehlt es den Modellen an einem räumlichen Bezug, so dass bspw. eine Abbildung des Einflusses von Einfahrtsbeschränkungen für Diesel-Pkw in Innenstädte auf den regionalen Markt nicht möglich ist. Auch fokussieren sich die meisten Modelle auf Emissionsmodellierung und/oder die Modellierung verschiedener Antriebstechnologien, sodass eine Analyse der Wirkung neuer Mobilitätskonzepte (z. B. autonomes Carsharing) nicht möglich ist.

Schließlich stützt sich die Präsentation der Modelle auf die jeweils veröffentlichten Projektdokumentationen; die Implementierung der Berechnungsvorschriften, also der

Quellcode, ist in den allermeisten Fällen leider nicht verfügbar, wodurch die Vergleichbarkeit der Modelle eingeschränkt ist. Anstrengungen in Richtung von open-source Code sollten in der Forschungsförderung daher von Seiten der Geldgeber deutlich mehr gefordert werden. Insgesamt ist also zu konstatieren, dass die in Deutschland vorhandenen Modelle zur Vorhersage des Pkw-Bestandes deutliche Schwächen aufweisen um insbesondere die Zulassungszahl und relevante Interaktionen zwischen Änderungen im Verkehrsangebot und Fahrzeugbesitz und Fahrzeugnutzung vorherzusagen.

4.2 ANSÄTZE ZUR SCHLIESSUNG DER LÜCKEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Das vorgestellte Modellkonzept soll perspektivisch die Beseitigung der genannten Schwachstellen ermöglichen. Dafür wurden zunächst einige relevante Datenquellen vorgestellt, die für die Modellierung herangezogen werden können. Die Datenlage erscheint durchaus ergiebig, lediglich Längsschnittdaten zu Anschaffungsentscheidungen sind nicht verfügbar; diese wären äußerst hilfreich, um Modelle zu schätzen, die die Kopplung von Abschaffung und Anschaffung – also den Ersatz eines Fahrzeugs – abbilden oder diese sogar mit demographischen Lebensereignissen verknüpfen. Für den Gebrauchtwagenmarkt wäre dabei die Betrachtung tatsächlicher Transaktionen wünschenswert, da bislang anstelle der realisierten nur die Angebotspreise verfügbar sind.

Das vorgestellte, sich noch in der Entwicklung befindliche Modell verwendet als Hauptdatenbasis die MiD 2008, wodurch die Möglichkeit zur Aktualisierung auf Basis regelmäßig erhobener und frei verfügbarer Daten gegeben ist. Zudem ermöglicht die deutschlandweite Ausrichtung des MiD-Datensatzes eine ebensolche Modellierung der Pkw-Entscheidungen mit Bezug zu Haushalts- und Fahrzeugeigenschaften. Das Modell besteht aus einem evolutionären Längsschnittmodell (bei dem die Fahrzeuge im Zeitverlauf verfolgt werden können) und einem Fixpunktmodell (bei dem die Fahrzeuge den Haushalten jedes Jahr aufs Neue zugeordnet werden). Das evolutionäre Längsschnittmodell umfasst zwei Entscheidungsebenen, die Ebene der Anschaffungsentscheidung und die Ebene der Typenwahl. Das Modell auf Ebene der Anschaffungsentscheidung löst einige Probleme bestehender Modelle: Erstens erlaubt es eine endogene Modellierung der Absatzzahl privat gehaltener Neu- und Gebrauchtwagen sowie gewerblich zugelassener, aber überwiegend privat genutzter Dienstwagen. Damit ist eine Verbindung zwischen Gebrauchtwagen- und Neuwagenmarkt und den jeweiligen Nutzerattributen hergestellt, die je nach Datenlage in der Zukunft verfeinert werden kann. Zweitens kann so die Fahrzeughistorie abgebildet werden, wodurch abrupte Änderungen im modellierten Gesamtbestand verhindert werden, da die Entscheidungen der Haushalte einer gewissen zeitlichen Trägheit unterliegen. Das Modell auf Ebene der Pkw-Typenwahl steht vor der Herausforderung, den Markthochlauf von Technologieinnovationen, die einen sehr geringen oder noch gar keinen Marktanteil haben (z. B. alternative Antriebe oder Automatisierungskomponenten), unter verschiedenen Rahmenbedingungen vorherzusagen. Da reine Discrete-Choice-Modelle, die auf Basis des Ist-Zustands kalibriert werden, die

zukünftige Entwicklung von Innovationen systematisch unterschätzen, wird auf ein hybrides Modell (Discrete-Choice- und Diffusionsmodell) zurückgegriffen.

Abschließend wurden einige Herausforderungen diskutiert, die sich bei der Umsetzung des Modellkonzepts ergaben. Neben einigen Validierungsproblemen und dem bereits diskutierten Fehlen von Paneldaten zu Anschaffungs- oder Abschaffungsentscheidungen, den zugehörigen Transaktionen und deren Kopplung an Lebensereignisse, betrifft dies insbesondere die Regionalisierung des Modells, um Aussagen über die Wirkungen regionaler Regulierungen auf den Fahrzeugabsatz zu berechnen. So ist anzunehmen, dass die Präferenzen und Zahlungsbereitschaften der Verbraucher regional in Deutschland stark variieren, weshalb regionale Modelle auf Basis regionaler Daten geschätzt werden müssten. Solche Daten liegen bislang jedoch nicht vor. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass zukünftige Innovationen die Verkehrsmitteloptionen regional unterschiedlich verändern werden, was die aktuelle Diskussion über autonomes Car- oder Ridesharing zeigt. Um differenziert vorherzusagen, wie derartige Veränderungen ggf. den Fahrzeugbesitz und die Fahrzeugnutzung beeinflussen werden, sind empirische Untersuchungen notwendig, um besser zu verstehen, unter welchen Bedingungen private Haushalte tatsächlich in Erwägung ziehen, sich keinen privaten Pkw mehr anzuschaffen. Eine rein kostengetriebene Betrachtung auf Basis von Stichtagsmobilitätsmustern greift hier sehr wahrscheinlich zu kurz. Es wird mindestens eine Rückkopplung mit einem Verkehrsmodell nötig sein, das auch seltene Ereignisse wie beispielsweise Urlaubsfahrten betrachtet. Schließlich muss von Modellierern besser verstanden werden, welche Kosten tatsächlich für die Fahrzeugnutzung anfallen und welche (intangiblen) Nutzen hinter dieser beobachteten Zahlungsbereitschaft stehen.

Danksagung

Die Arbeiten an der Modellentwicklung und an vorliegendem Artikel wurden im Rahmen der institutionellen Förderung „Verkehrsentwicklung und Umwelt (VEU) II“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) durchgeführt. Die Autoren bedanken sich bei Tobias Kuhnimhof, Falko Nordenholz, Francisco J. Bahamonde-Birke, Lars Kröger und Marie-Sophie Bolz (alle DLR) für hilfreiche Diskussionen und inhaltliche Zuarbeit. Außerdem bedanken sich die Autoren bei Till Gnann (Fraunhofer ISI) für ein äußerst konstruktives Review des Artikels, sowie bei Angelika Schulz (DLR) für das intensive Korrekturlesen des Artikels. Die Verantwortung für verbleibende Fehler liegt allein bei den Autoren.

Abstract

Heutige Pkw-Kaufentscheidungen durch private Haushalte und durch Firmen bestimmen die Größe und Zusammensetzung der nationalen Pkw-Flotte für lange Zeiträume. Die adäquate Abbildung dieser Entscheidungen ist somit wichtig für Verkehrsplanung und Politikmaßnahmenentwicklung. In Deutschland existieren mehrere Ansätze zur

Abschätzung des zukünftigen Pkw-Bestandes und zur Ableitung von Flottenzusammensetzung, Fahrleistung, Energieverbrauch und Emissionen. Vor dem Hintergrund möglicher disruptiver Veränderungen des Verkehrsmarktes durch die Automatisierung von Pkw stellt sich die Frage, inwieweit die bestehenden Modelle in der Lage sind, den Einfluss technologischer und (verkehrs-)politischer Veränderungen auf den Pkw-Bestand in Deutschland vorherzusagen.

Der vorliegende Artikel stellt daher die bekanntesten Modellansätze zur Abbildung der deutschen Pkw-Flotte sowie einige der zur Modellierung geeigneten Datenquellen vor. Der Vergleich der Modelle zeigt, dass häufig lediglich Punktvorhersagen bereitgestellt werden, ohne die Transformation explizit zu modellieren, und darüber hinaus die Entwicklung der Neuzulassungszahl als exogene Variable benötigt wird. Auch weisen die Modelle Lücken bei der Behandlung demographischer Entwicklungen und Trends oder der Betrachtung des Gesamtmarktes (Interdependenz zwischen Neu- und Gebrauchtwagenmarkt und der jeweiligen Anforderungen der Käufertypen) auf. Im zweiten Teil des Artikels wird ein neuartiger evolutionärer Simulationsansatz vorgeschlagen, der einige der identifizierten Probleme löst und es perspektivisch ermöglichen wird, die Einflüsse regional differenzierter Regulierungen oder (geteilter) autonomer Fahrzeugen auf Pkw-Besitz und -nutzung vorherzusagen.

Literatur

- Adolf, J., C. Balzer, A. Joedicke, U. Schabla, K. Wilbrand, S. Rommerskirchen, N. Anders, A. A. d. Maur, O. Ehrentraut, L. Krämer und S. Straßburg (2015). „Shell Pkw-Szenarien bis 2040: Fakten, Trends und Perspektiven für Auto-Mobilität“. Shell Deutschland, Prognos.
- Al-Alawi, B. M., und T. H. Bradley (2013). „Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling Studies“. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21:190-203. doi:10.1016/j.rser.2012.12.048.
- Bahamonde-Birke, F. J. und T. Hanappi (2016). „The potential of electromobility in Austria: Evidence from hybrid choice models under the presence of unreported information“. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 83:30-41.
- Bass, F. M. (1969). „A New Product Growth for Model Consumer Durables“. *Management Science* 15:215-27.
- DAT (2017). DAT Report 2017, Deutsche Automobil Treuhand GmbH.
- DEFINE (2014). „DEFINE - Development of an Evaluation Framework for the Introduction of Electromobility Synthesebericht“. IHS Wien, Umweltbundesamt, TU Wien, DIW Berlin, Öko-Institut, CASE.
- Destatis (2011). Zensus 2011, Haushalte nach Haushaltsgrößen - Stichtag 09.05.2011 - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte (12111-31-01-4). Abgerufen am 09.11.2017

- im Internet unter
<https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/data;jsessionid=6EC7A6B76837DC29F8AE20C3F8E0231E.reg1?operation=abruftabelleAbrufen&selectionname=12111-31-01-4&levelindex=0&levelid=1510241655274&index=31>
- Diekmann, L., E. Gerhards, S. Klinski, B. Meyer, S. Schmidt, und M. Thöne (2011). „Steuerliche Behandlung von Firmenwagen in Deutschland“. FiFo Köln, Report Nr. 13.
- EPA - Environmental Protection Agency (2011). „FEV Inc. Report ‚Light Duty Technology Cost Analysis, Power-Split and P2 Hybrid Electric Vehicle Case Studies‘ - Response to Peer Reviewer Comments“.
- ESMT (2011). „Marktmodell Elektromobilität“. European School of Management and Technology.
- Follmer, R., D. Gruschwitz, B. Jesske, S. Quandt, B. Lenz, C. Nobis, K. Köhler und M. Mehlin (2010). „Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht Struktur-Aufkommen-Emissionen-Trends“. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- Gnann, T. (2015). „Market Diffusion of Plug-in Electric Vehicles and Their Charging Infrastructure“. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- Gnann, T., und P. Plötz (2015). „A review of combined models for market diffusion of alternative fuel vehicles and their refueling infrastructure“. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47:783-93. doi:10.1016/j.rser.2015.03.022.
- Gnann, T., T. Stephens, Z. Lin, P. Plötz, C. Liu, und J. Brokate (2017). „What drives the market for plug-in electric vehicles?“ European Electric Vehicle Congress.
- de Haan, P., M. G. Mueller und R. W. Scholz (2009). „How much do incentives affect car purchase? Agent-based microsimulation of consumer choice of new cars - Part II: Forecasting effects of feebates based on energy-efficiency“. *Energy Policy* 37(3): 1083-1094.
- Jamasb, T., und J. Köhler (2007). „Learning Curves for Energy Technology: A Critical Assessment“. Cambridge Working Papers in Economics.
- Jensen, A. F., E. Cherchi, S. L. Mabit, und J. de Dios Ortúzar (2016). „Predicting the potential market for electric vehicles.“ *Transportation Science* 51(2): 427-440.
- de Jong, G., J. Fox, A. Daly, M. Pieters und R. Smit (2004). "Comparison of car ownership models". *Transport Reviews* 24(4): 379-408.
- de Jong, G., J. Fox, M. Pieters, L. Vonk und A. Daly (2002). „Audit of Car Ownership Models“.
- KBA (2012). „Privat und gewerblich zugelassene Personenkraftwagen (Pkw) - der kleine Unterschied“. Abgerufen am 09.11.2017 im Internet unter

https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Halter/2012/2012_n_firmenwagen_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=9

- KBA (2017a). „Bestand in den Jahren 2008 bis 2017 nach ausgewählten Fahrzeugklassen mit dem Durchschnittsalter der Fahrzeuge“. Abgerufen am 20.07.2017 im Internet unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugalter/b_alter_kfz_z.html?nn=645784
- KBA (2017b). „Neuzulassungen von Pkw in den Jahren 2007 bis 2016 nach ausgewählten Kraftstoffarten“. Abgerufen am 20.07.2017 im Internet unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n_umwelt_z.html?nn=652326
- KBA (2017c). „Neuzulassungen von Pkw in den Jahren 2007 bis 2016 nach ausgewählten Haltergruppen“. Abgerufen am 10.11.2017 im Internet unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Halter/z_n_halter.html?nn=652344
- Kieckhäfer, K. (2013). „Marktsimulation zur strategischen Planung von Produktportfolios“. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Kieckhäfer, K., T. Volling, und T. S. Spengler (2014). „A Hybrid Simulation Approach for Estimating the Market Share Evolution of Electric Vehicles“. *Transportation Science*. doi:10.1287/trsc.2014.0526.
- Kihm, A. (2014). „DISCO: DISaggregate Car Ownership“. Jacobs University Bremen.
- Kihm, A. und S. Trommer (2014). „The new car market for electric vehicles and the potential for fuel substitution“. *Energy Policy* 73: 147-157.
- Knörr, W., C. Heidt und A. Schacht (2012). „Aktualisierung „Daten-und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMODO, Version 5.3) für die Emissionsberichtserstattung 2013 (Berichtsperiode 1990-2011)“. Endbericht, ifeu Institut.
- Mehlhart, G., C. Merz, L. Akkermans und J. Jordal-Joergensen (2011). „European second-hand car market analysis“. Öko-Institut.
- Mock, P. (2010). „Entwicklung eines Szenariomodells zur Simulation der zukünftigen Marktanteile und CO₂-Emissionen von Kraftfahrzeugen (VECTOR 21)“. Universität Stuttgart.
- Mueller, M. G. und P. de Haan (2009). „How much do incentives affect car purchase? Agent-based microsimulation of consumer choice of new cars - Part I: Model structure, simulation of bounded rationality, and model validation“. *Energy Policy* 37(3): 1072-1082.

- Nitsch, J., T. Pregger, T. Naegler, D. Heide, D. L. de Tena, F. Trieb, Y. Scholz, K. Nienhaus, N. Gerhardt und M. Sterner (2012). „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR); Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES); Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE).
- Plötz, P., T. Gnann, und M. Wietschel (2012). „Total ownership cost projection for the German electric vehicle market with implications for its future power and electricity demand“. Enerday, 7th Conference on Energy Economics and Technology "Infrastructure for the Energy Transformation".
- Plötz, P., T. Gnann, A. Kühn und M. Wietschel (2013). „Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge“. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).
- Plötz, P., T. Gnann und M. Wietschel (2014). „Modelling Market Diffusion of Electric Vehicles with Real World Driving Data, Part I: Model Structure and Validation“. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).
- Propfe, B. (2016). „Marktpotentiale elektrifizierter Fahrzeugkonzepte unter Berücksichtigung von technischen, politischen und ökonomischen Randbedingungen“. Universität Stuttgart.
- Redelbach, M. (2016). „Entwicklung eines dynamischen nutzenbasierten Szenariomodells zur Simulation der zukünftigen Marktentwicklung für alternative Pkw-Antriebskonzepte“. Universität Stuttgart.
- Rogers, E. M (1983). „Diffusion of Innovations“. New York; London: Free Press; Collier Macmillan.
- Schlesinger, M., P. Hofer, A. Kemmler, A. Kirchner, S. Strassburg, D. Lindemberger, S. Nagl, M. Paulus, J. Richter, J. Trüby, C. Lutz, O. Khorushun, U. Lehr und I. Thobe (2010). „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Prognos AG; EWl; GWS.
- Schubert, M., T. Kluth, G. Nebauer, R. Ratzenberger, S. Kotzagiorgis, B. Butz, W. Schneider und M. Leible (2014). „Verkehrverflechtungsprognose 2030“. BVU, Intraplan, IVV, Planco.
- VerbraucherAnalyse (2012). „VA 2012 Klassik I Märkte“, Axel Springer AG und Bauer Media Group.
- Wansart, J., und E. Schnieder (2010). „Modeling market development of electric vehicles“, 4th Annual IEEE San Diego Systems Conference. doi:10.1109/systems.2010.5482453.
- Weikl, R. (2010). „Simulation zur Abschätzung der Marktanteilsentwicklung unterschiedlicher Antriebsvarianten am deutschen Fahrzeugmarkt“. Technische Universität Chemnitz.

- Weiss, C., B. Chlond, M. Heilig und P. Vortisch (2014). „Capturing the usage of the German car fleet for a one year period to evaluate the suitability of battery electric vehicles—a model based approach.” *Transportation Research Procedia* 1(1): 133-141.
- Woldeamanuel, M. G., R. Cyganski, A. Schulz und A. Justen (2009). „Variation of households’ car ownership across time: application of a panel data model”. *Transportation* 36(4): 371-387.
- Wright, T. P (1936). “Factors Affecting the Cost of Airplanes”, *Journal of the Aeronautical Sciences* 3(4): 122-128.
- Zimmer, W., M. Buchert, S. Dittrich, F. Hacker, R. Harthan, H. Hermann, W. Jenseits, P. Kasten, C. Loreck und K. Götz (2011). „OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen - Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft“. Öko-Institut e.V. und Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE).
- Zimmer, W., R. Blanck, T. Bergmann, M. Mottschall, R. von Waldenfels, R. Cyganski, A. Wolfermann, C. Winkler, M. Heinrichs und F. Dünnebeil (2016). „Endbericht RENEWABILITY III-Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors“.

**Kommentar zu dem Beitrag:
Die Entwicklung des deutschen Pkw-Bestandes:
Ein Vergleich bestehender Modelle und die Vorstellung eines
evolutionären Simulationsansatzes (von Benjamin Kickhöfer und
Jens Brokate)***

VON TILL GNANN

Die Autoren des Artikels beschäftigen sich mit dem wichtigen Aspekt der Bestimmung des deutschen Fahrzeugbestands. Hierfür zeigen sie bestehende Forschungslücken in einem umfangreichen Literaturvergleich auf und stellen einen eigenen Ansatz zur Schließung dieser Lücken dar. Der Artikel bietet nicht nur einen guten Überblick über die bestehenden Modelle zur Projektion der Entwicklung des deutschen Fahrzeugmarkts, sondern liefert auch anderen Modellierern Hinweise auf unzureichend betrachtete Aspekte und Möglichkeiten zu deren Behebung.

Hilfreich ist dabei insbesondere, dass sie 14 deutsche Modelle zur Entwicklung des Fahrzeugmarkts im Detail beschreiben und auf deren Modelltyp, die wesentlichen Input-Faktoren und Hauptergebnisse eingehen. Sie zeigen auf, welche Aspekte aus ihrer Sicht fehlen, um den Fahrzeugbestand detailliert zu modellieren. Hierbei beweisen die Autoren ein gutes Gespür für die Möglichkeiten zur Ermittlung des Fahrzeugbestands mit den Modellen auf, sind diese doch alle für unterschiedliche Fragestellungen entwickelt worden. In der nachfolgenden Synthese fassen die Autoren des Artikels die wesentlichen Erkenntnisse aus dem Modellvergleich zusammen und zeigen den weiteren Forschungsbedarf auf. Insbesondere hier liegt ein großer Beitrag auch für andere

* Die Qualitätsprüfung / -sicherung des Beitrags „Die Entwicklung des deutschen Pkw-Bestandes: Ein Vergleich bestehender Modelle und die Vorstellung eines evolutionären Simulationsansatzes“ von Benjamin Kickhöfer und Jens Brokate erfolgte gemäß dem auf der Homepage der Zeitschrift für Verkehrswissenschaft dargestellten (Alternativ-)Ansatz zur transparenten Qualitätsprüfung und -diskussion (siehe www.z-f-v.de → „Einreichung von Beiträgen und Begutachtung / Qualitätsprüfung“). Dabei wird von einem fachkundigen Wissenschaftler eine zustimmende Stellungnahme zur Veröffentlichung des Beitrags eingeholt und zusammen mit dem Beitrag veröffentlicht.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Till Gnann
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Energietechnologien und Energiesysteme
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
E-Mail till.gnann@isi.fraunhofer.de

wissenschaftliche Arbeiten. So finden sie, dass die Wirkung neuer Mobilitätskonzepte in keinem der Modelle abgebildet wird, die Regionalisierung selten Teil der Modelle ist und dass die Rückkopplung zwischen Gebrauch- und Neuwagenmarkt fehlt.

Im zweiten Teil des Artikels zeigen die Autoren, wie diese Forschungslücke mit einem eigenen Modellansatz geschlossen werden können. Dazu entwickeln sie ein zweigeteiltes Modell mit einem evolutionären Modellansatz zur Simulation der Interaktionen des Neu- und Gebrauchtwagenmarkts und einem Discrete-Choice-Modell zur Simulation der Kaufentscheidung. Ein wichtiger Punkt ist dabei die Ermittlung des Fahrzeugbestands gewerblich gehaltener Fahrzeuge und deren Übergang in den Gebrauchtwagenmarkt. Insbesondere dieser Aspekt wird in vielen bestehenden Modellen häufig vernachlässigt, obwohl die gewerblichen Neuwagenzulassungen im gewerblichen Bereich rund 60% ausmachen. Dies ist ein deutlicher Mehrwert gegenüber den bestehenden Ansätzen.

Beide Teile des Artikels enthalten relevante Beiträge für die deutsche Verkehrsforschung und sind ebenfalls für Unternehmen und Politik von Relevanz. Es ist zu hoffen, dass sich spätere Autoren an dieser fundierten Literaturanalyse orientieren und sich an der Berücksichtigung des gewerblichen Neuwagen- und privaten Gebrauchtwagenbestand ein Beispiel nehmen.

Konzept der Verkehrssystemevolution: Eine erweiterte Multi-Level Perspektive

VON STEPHAN MÜLLER UND GERNOT LIEDTKE

1. Einleitung

Als sektorale Strukturpolitik hat die Verkehrspolitik die Aufgabe, die Funktionsfähigkeit des Verkehrssektors sicher zu stellen. Die Ziele und Mittel der Verkehrspolitik änderten sich im Laufe der Zeit, denn die gesellschaftlichen Herausforderungen und Paradigmen beeinflussen auch den Verkehrssektor. Beispielsweise fand zwischen den späten 1990er Jahren und heute ein Wandel von *der Verkehrsvermeidung bzw. Entkopplung des Verkehrs- und Wirtschaftswachstums* hin zu einer *nachhaltigen Gestaltung des Wachstums von Wirtschaft und Verkehr* statt (Schöller 2006). Entsprechend des aktuellen Ziels bzw. Paradigmas werden heutzutage vor allem Instrumente der aktiven Innovationsförderung eingesetzt. Bei der Innovationsförderung geht es zum einen darum, zusammen mit der Industrie neue technische und organisatorische Lösungen für einen ökologisch nachhaltigen Verkehr zu entwickeln, die – wenn man dies den Marktkräften alleine überließe – gar nicht oder stark verzögert in Verkehrsmärkte diffundieren würden. Zum anderen geht es um die Erfüllung eines wirtschaftspolitischen Ziels - die Technologieführerschaft in klassischen Märkten zu erhalten und in neuen Märkten zu erlangen (Leitmarkt).

Innovationsmaßnahmen sind zunächst monosektorale Maßnahmen, d.h. sie beziehen sich auf Technologien und Geschäftsmodelle für einen Verkehrsträger. Da förderliche Maßnahmen für einen Verkehrsträger in der Regel negative Wirkungen auf andere zur Folge haben, steht die aktuelle Verkehrspolitik vor einem Dilemma: Es scheint nicht möglich zu sein, Innovationen in einem Verkehrsmodus zu fördern ohne gleichzeitig eine negative Auswirkung auf das integrierte Verkehrssystem in Kauf zu nehmen. Andererseits waren in der bisherigen verkehrspolitischen Praxis Maßnahmen für ein integriertes Verkehrssystem, d.h. die Verkehrsträger als Verbund zu stärken, weniger geeignet, Innovationen erfolgreich in den Markt zu bringen. Aktuelle Beispiele für ersteres ist die

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. Stephan Müller
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin
E-Mail: stephan.mueller@dlr.de

Prof. Dr. rer. pol. Gernot Liedtke
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin
E-Mail: gernot.liedtke@dlr.de

Zulassung von Lang-Lkw oder des Busfernverkehrs. Für letzteres können als Beispiele der Aktions- und der Masterplan für Güterverkehr oder die KV Förderrichtlinie-Richtlinie genannt werden.

Wenn bei monomodalen Maßnahmen Nachteile für das integrierte Verkehrssystem erwartet werden, werden diese Maßnahmen in der Öffentlichkeit gerne mit dem Hinweis auf mögliche Schäden des gesamten (integrierten) Systems diskreditiert. Wiederum werden Maßnahmen für ein integriertes Verkehrssystem durch Behauptungen zu Einschränkungen unternehmerischer Freiheiten und negativen Anreizen zu Investitionen und Innovationen diskreditiert. Die Frage stellt sich, ob die beiden genannten Politikprinzipien wirklich unvereinbar sind, oder ob es doch Möglichkeiten gibt, eine nachhaltige Entwicklung des gesamten Verkehrssystems durch eine differenzierte Innovationsförderung bei Verkehrsträgern zu unterstützen.

Im vorliegenden Artikel soll zunächst eine theoretische Basis für eine gesamtsystemische und innovationsfördernde Politikgestaltung im Verkehr gelegt werden.

Das geschilderte Dilemma tritt auf, wenn man sich die verschiedenen Maßnahmen unter dem Blickwinkel klassischer mikroökonomischer Theorien bzw. der Wohlfahrtsökonomie anschaut. Es ergibt sich dadurch, dass in einer Welt mit positiven Skaleneffekten jede Maßnahme zur Effizienzsteigerung eines Verkehrsmittels negative Wirkungen für die anderen in einem Verkehrsmarkt nach sich zieht. Aus diesem Grund wird die Analyse um Elemente der Evolutionsökonomie und Soziologie in einer Art erweitert, wie dies auch in der aktuellen Innovationstheorie geschieht. Somit würde der genutzte Ansatz auch den Vorteil haben, dass er für die Innovationsförderung als Mittel der Verkehrspolitik auch innovationstheoretische Erkenntnisse in den Fokus stellt.

Zunächst wird im Artikel der Stand des Wissens zur Verkehrssystemevolution und zu grundsätzlichen Wirkungsmechanismen zwischen Akteuren und Innovationsaktivitäten dargestellt. In Abschnitt 3 werden die beiden Analyseebenen zusammengeführt und ein Konzept der Verkehrssystemevolution abgebildet. Dieses erweitert die bisher deskriptive Erfassung der Verkehrssystemevolution zu einem Ansatz der Verkehrssystemevolution, mit dem sich die Evolution durch eingebettete Theorien erklären lässt. Abschnitt 4 fasst die Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf deren Anwendung in der Politikgestaltung.

2. Bedeutung von Innovationen zur Verkehrssystemevolution

2.1. STAND DES WISSENS ZU KONZEPTEN ZUR VERKEHRSSYSTEMEVOLUTION

Es gibt eine Reihe von Veröffentlichungen zu Innovationen im Verkehrssektor und deren Bedeutung für die Evolution des Verkehrssystems (z.B. Heinze 1985, Heinze und Kill 1988, Cowan und Hultén 1996, Vester 1999, Unruh 2000, Geels 2002, Whitmarsh 2012). Zwei Veröffentlichungen thematisieren ein Muster für typische Abläufe in der Entwicklung

von Technologien und Märkten. Das Grundmuster von Heinze und Kill (1988) bezieht sich auf den Verkehr und dessen Evolution; die Multi-Level Perspektive (MLP, Geels 2002) auf Technologiewandelprozesse in beliebigen Sektoren.

Grundmuster der Verkehrssystemevolution

In einer Analyse zur Durchsetzung und Weiterentwicklung der Eisenbahn zeigten Heinze und Kill (1988) folgendes allgemeine Grundmuster der Verkehrssystemevolution²:

1. In einer sich verändernden Wirtschafts- und Gesellschaftsstruktur werden Leistungsgrenzen eines bestehenden Verkehrssystems im Zeitverlauf deutlich.
2. Auf Grund des sich in der Folge aufbauenden Anpassungsdruckes werden die etablierten Angebotsstrukturen des Verkehrssystems destabilisiert.
3. Zunächst wird keine Alternative in Betracht gezogen sondern zahlreiche Versuche zur Anpassung des etablierten Verkehrsangebotes unternommen.
4. Es resultiert daraus eine „Manie“ in Form eines Glaubens an das Lösungspotenzial der bestehende Technologie durch entsprechend forcierte Anpassungsversuche, was häufig eine extensive Netzausweitung und überdimensionierte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zur Folge hat.
5. Dadurch verändern sich als Rückkopplung die Wertvorstellungen und die Einstellung zur Technologie bei Akteuren und Nutzern.
6. Die Grenzen der etablierten Technologie können mit Modifikationsmaßnahmen langfristig nicht aufgelöst werden, z.B. können geltende physikalische Prinzipien oder ökonomisch tragfähige Bedingungen der Technologie nicht überwunden werden.
7. Radikal neue bzw. alternative Technologien (mehrere!) bekommen in der Folge Unterstützer und sie werden in Nischen eingesetzt.
8. Lerneffekte an der neuen Technologie und deren ständige Verbesserung, dynamische Unternehmer, progressive Beamte und finanzielle Lösungen führen dazu, dass sich eine Technologie beginnt durchzusetzen.
9. Es entstehen durch die Radikalität der Technologie, durch deren völlig neuen technisch-organisatorischen Möglichkeiten, neue Nachfragestrukturen (Einsatzfelder) und neue Märkte.
10. Es wird ein allgemeines Wachstum induziert: ein Wachstum der Verkehrsnachfrage durch die neuen Einsatzfelder und ein ökonomisches Wachstum durch die Ausnutzung neuer Wertschöpfungsmöglichkeiten.
11. Ergänzende inkrementelle Innovationen können im Wachstumsmarkt realisiert werden und führen zu weiteren Leistungssteigerungen.
12. Als Sekundäreffekte dieser Entwicklung werden die bestehenden Rahmenbedingungen zu Gunsten der neuen Technologie angepasst (z.B. Infrastruktur, Gesetze, politische Ressorts und Kontrollinstanzen).

² Zur Verdeutlichung der einzelnen Schritte ist das Evolutionsmuster im Anhang A abgebildet. Eine Beschreibung des Evolutionsmusters am Beispiel der Eisenbahn kann in Heinze und Kill (1988) nachgeschlagen werden.

13. Es richtet sich das Paradigma der Technologienutzung und -akzeptanz im gesamtgesellschaftlichen Ausmaß auf die neue Technologie aus (das Supersystem passt sich an).
14. Im Zeitverlauf werden externe Einflüsse auch wieder die Grenzen des Wachstums aufzeigen und der Prozess beginnt erneut (siehe Punkt 1).

Die Multi-Level Perspektive

Mit einem anderen methodischen Ansatz entwickelte Geels (2002) die Multi-Level-Perspektive (MLP), welche den Durchsetzungsmechanismus einer neuen Technologie (einen Technologiewandel) fokussiert. Laut der MLP sind es drei interagierende Analyseebenen, die einen Technologiewandel charakterisieren: das Regime, die Nischen und die sozio-technische Landschaft (Geels 2002).

- Das Regime beschreibt ein Netzwerk von Akteuren, deren Handeln, ihre Organisationsformen, deren Regeln und dezentrale Abstimmung, welche zur Stabilisierung einer dominanten technologischen Entwicklung eingesetzt wird. Laut Geels konstituiert sich ein Regime aus den Elementen Technologie, Infrastruktur, Markt und Nutzerpraktiken, der sektoralen Politik, Industrienetzwerken und der kulturellen Bedeutung bzw. Symbolik einer Technologie. Beispiele für die Regime³ „Lkw-basierte Logistik“ und „Schienengüterverkehr“ sind im Anhang B aufgeführt.
- Nischen beschreiben in der MLP vom Massenmarkt nicht befriedigte Nachfragebedürfnisse. Sie bilden konkurrenzlose Einsatzfelder für neue Technologien, die für das Regime und damit dem Massenmarkt wirtschaftlich nicht relevant sind.
- Die exogene, sozio-technische Landschaft ist die dem Regime und den Nischen übergeordnete Analyseebene. Sie umfasst gesamtgesellschaftliche Paradigmen und dementsprechende Sub-Trends, soziale Normen, Gesetze, wirtschafts-ethische Regeln, etc.

Laut der MLP entwickelt das bestehende Regime mit inkrementellen Innovationen einen Regime-konformen Technologiepfad, um a) den Kern-Markt zu entwickeln und b) sich langsam verändernden Rahmenbedingungen, den Einflüssen der sozio-technischen Landschaft, anzupassen. Steigende Umweltauforderungen an Verkehrstechnologien und insbesondere Klimaschutzziele wären ein Beispiel für sich ändernde Rahmenbedingungen (aus der sozio-technischen Landschaft), die aktuell zu einem Anpassungsdruck beim Regime „Lkw-basierte Logistik“ führen. Jedoch prägt nicht nur die sozio-technische Landschaft die Entwicklung des Regimes, sondern das Regime prägt auch die Landschaft, indem es passiv oder aktiv Einfluss auf Regulierung, Politik, Meinungen und Paradigmen ausübt. Radikale Innovationen werden daher in Nischen entwickelt und eingesetzt, in denen Inventoren und risikobereite Unternehmer/Unternehmen, die nicht dem Regime angehören, technisch-organisatorische Innovationen entwickeln und von dort aus in den bestehenden

³ Warum im Verkehr mehrere Regime relevant sind, wird im Abschnitt 2.4 thematisiert.

Markt drängen. Einen Technologiewandel, die Ablösung des dominanten Regimes, steht im Zusammenhang mit einer Destabilisierung des Regimes. Diese erfolgt typischerweise auf zwei generelle Arten:

- Nischenmärkte können entweder im Laufe der Zeit wachsen und mit leistungsfähigen Technologien, eigenen Netzwerken und Machtstrukturen das bestehende Regime sukzessive ablösen, oder
- es treten massive Änderungen in der sozio-technischen Landschaft ein, z.B. durch eine Katastrophe (Systemschock), neue gesellschaftliche Rahmenbedingungen (gravierend deutliche Maßnahmensetzung) oder einer Ressourcenbeschränkung (natürliche Wachstumsgrenze). In diesem Fall wird eine Nischenoption für politische Entscheidungsträger relevant und würde gefördert.

Eine dritte Option ist nur in seltenen Ausnahmefällen gegeben – die Aufnahme/Integration einer in Nischen entwickelten radikalen Innovation in das Regime bzw. eine Eigenentwicklung radikaler Innovationen durch das Regime (Foster 1985, Geels 2002, Smith et al. 2005, Geels und Schot 2007, Geels 2010). Das Prinzip der MLP ist zur Verdeutlichung des beschriebenen Technologieentwicklungsprozesses in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

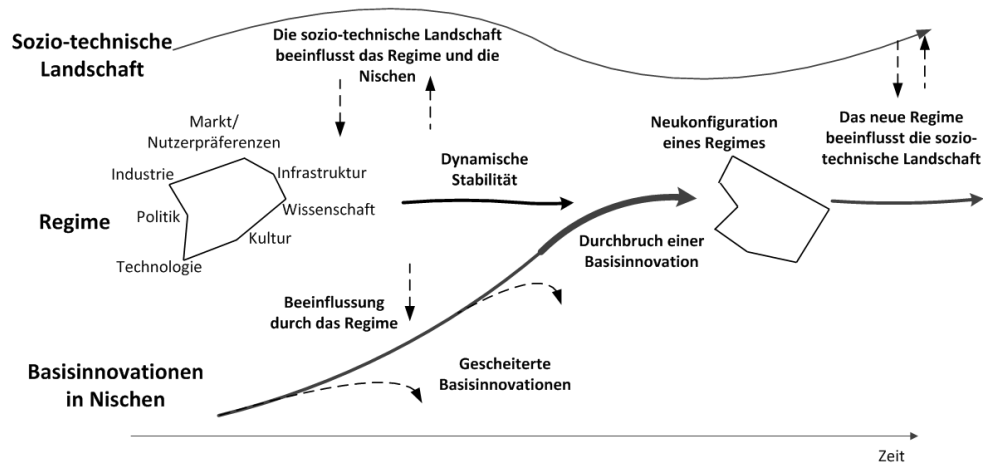


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Multi-Level-Perspektive (nach Geels 2002)

Gemeinsamkeiten und Weiterentwicklungsbedarf

Grundsätzlich gibt es eine hohe Übereinstimmung der MLP und den Prinzipien der Verkehrssystemevolution von Heinze und Kill. Man kann die Evolutionsschritte von Heinze und Kill in die MLP einsetzen und könnte somit die MLP in Teilen detaillierter für den Verkehrssektor beschreiben. In beiden Ansätzen, in der MLP und im Grundmuster der

Verkehrssystemevolution von Heinze und Kill sind jedoch determinierende Theorien für die Wirkungsmechanismen nicht weiter ausgeführt. Somit sind beide Ansätze rein deskriptiv. Im Folgenden werden daher Theorien aufgeführt, mit denen sich die Wirkungsmechanismen erklären lassen. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass erst wenn das Prinzip der Verkehrssystemevolution erklärt (verstanden) werden kann, auch Ansätze zur verkehrspolitischen Nutzung ableitbar sind.

Ausgangspunkt der weiteren Arbeiten in diesem Artikel ist die MLP, da sie aktueller und international anerkannt ist. Im Detail geht es um folgende Prozesse:

1. Wirkungen der sozio-technischen Landschaft auf das Regime und vice versa,
2. Muster des Regimeverhaltens,
3. Markteintrittsmöglichkeiten in den Massenmarkt aus der Nische heraus und
4. Verbleib der abgelösten Technologie/des abgelösten Regimes⁴.

2.2. DIE WIRKUNGEN DER SOZIOTECHNISCHEN LANDSCHAFT AUF DAS REGIME UND VICE VERSA

In der Evolutionsökonomie sind sogenannte lange Wellen (auch Kondratieff-Zyklen) bekannt, in denen langfristige Aufschwungsphasen und längere Phasen der Stagnation und des Abschwunges unterschieden werden (im Unterschied zu kurzfristigen Konjunkturzyklen). Diese Kondratieff-Zyklen haben eine Periodendauer von 40-60 Jahren, wobei sich bisher in jedem Zyklus eine völlig neue technologische Grundlage (Basisinnovation⁵) durchgesetzt hat. Der exakte Zusammenhang der Kondratieffs mit Basisinnovationen ist noch Gegenstand von Untersuchungen und Diskussionen. Es geht bei diesem Diskurs um die Kausalität, also die Frage, ob Basisinnovationen den Zyklus erzeugen oder der Zyklus die Basisinnovationen hervorbringt. Es ist im Diskurs jedoch der Fakt akzeptiert, dass sich in jedem Zyklus die Paradigmen des Wirtschaftens, sozialer Normen und entsprechende Politiken ändern (Goldstein 1983, Freeman und Louca 2001, Vasko 1985, Maier 1985 Mensch 1975, Nefiodow 1990, Ayres 1990a, Ayres 1990b, Theys 2005). Die Kondratieffs können somit als die grundlegende Einflussgröße zur Entwicklung der sozio-technischen Landschaft verstanden werden.

Sowohl die Eisenbahn als auch das Automobil waren in der Historie zwei Basisinnovationen und jeweils Träger einer langen Welle: nach der industriellen Revolution folgte die radikale Innovation „Eisenbahn“ und nach einer darauffolgenden langen Welle, die im Wesentlichen durch Basisinnovationen zur Elektrizität und Chemie getragen wurde, folgte das Automobil. Jedes Verkehrssystem ist für eine Nachfrageform besonders geeignet

⁴ Die MLP liefert keine Aussagen dazu, was mit dem abgelösten Regime geschieht, wenn sich das Neue nach einem Technologiewandel konfiguriert hat. Dieser Prozess fehlt bisher, ist im Verkehrswesen aber äußerst relevant wie noch gezeigt wird. Deshalb wird als 4. Punkt (Abschnitt 2.4: Die Koexistenz von Verkehrssystemen) die MLP um diesen Aspekt theoretisch erweitert.

⁵ Es können in einem Zyklus auch mehrere Basisinnovationen auftreten z.B. in verschiedenen Sektoren. Aber Je Zyklus gibt es im Prinzip eine Basisinnovationen, die alle Sektoren sukzessive erfasst und beeinflusst.

– das ist eine Erfolgsvoraussetzung zur Durchsetzung am Markt. Diese Nachfrage entsteht zunächst aus den Bedürfnissen der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung einer durch vorangegangene Basisinnovationen beeinflussten langen Welle. Darüber hinaus schafft sich jedes Verkehrssystem seine eigene Nachfrage, in dem es als Basisinnovation auch die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung prägt, neue Einsatzgebiete und damit neue Verkehrsmärkte induziert (vgl. Heinze und Kill 1988, Kill 1991). Somit beeinflusst zunächst die sozio-technische Landschaft die Erfolgsbedingungen von Basisinnovationen im Verkehr und später im Durchsetzungsprozess richtet die Basisinnovation im Verkehr die sozio-technische Landschaft auf sich aus⁶. Die Basisinnovationen werden dazu durch inkrementelle Innovationen sukzessive an Marktbedürfnisse angepasst bzw. die Marktbedürfnisse gezielt durch das Regime entwickelt. Dieser Anpassungsprozess, das Regimeverhalten, wird im nächsten Kapitel erläutert.

2.3. DAS MUSTER DES REGIMEVERHALTENS

Wenn eine Basisinnovation beginnt sich erfolgreich durchzusetzen, entsteht eine neue Technologie⁷. Diese wird typischerweise von neuen Unternehmen in einer Nische in den Markt eingeführt. Gewinnorientierte Unternehmen streben normalerweise an, den Nischenmarkt zu einem Massenmarkt zu entwickeln. Dies impliziert einen Technologiewandel nach dem Prinzip, wie es in den Ausführungen zur MLP beschrieben und im nächsten Abschnitt weiter ausgeführt ist. Wenn der Technologiewandel erfolgt ist, etablieren die Unternehmen einen Innovationswettbewerb mit inkrementellen Verbesserungen der Produkte, der sich laut Christensen (1997a) typischerweise nach folgendem Muster gestaltet⁸:

1. Die *Funktionalität* des Produktes und/oder des Services um eine Technologie ist die erste Stufe des Innovationswettbewerbs. Sie wird auf verschiedene Nachfragegruppen abgestimmt. Dadurch wird ein Markt sukzessive aufgebaut.
2. Die *Zuverlässigkeit* ist die nächste Stufe des Innovationswettbewerbs. Diese hat eine Verbesserung der Verlässlichkeit des Produktes zur Folge. Produkte unterscheiden sich in der Folge nach der Qualität.

⁶ Das Leitbild der „Autogerechten Stadt“ ist ein plakatives Beispiel für die Beeinflussung der soziotechnischen Landschaft durch Basisinnovationen – in diesem Fall, dem Automobil. Auch heutige Bestrebungen nach intelligenten Straßen und Fahrzeugen kann als Folge der Basisinnovation „IKT“ (fünfter Konfratieff-Zyklus) interpretiert werden.

⁷ Technologie beschreibt die technisch-organisatorischen Eigenschaften zur Nutzung einer Technik.

⁸ Es wurde im Abschnitt zur MLP erläutert, dass das Regime aus weiteren Elementen neben der Technologie besteht wie Infrastruktur, Markt und Nutzerpraktiken, der sektoralen Politik. Wenn man aber bisherige Basisinnovationen im Verkehr analysiert zeigt sich, dass im Verkehr insbesondere das Regime durch eine verfügbare Technik getrieben wird – andere Regimeelemente formieren sich um die Technologie. Daher kann die Technologieentwicklung durch Unternehmen als wesentliches Regimeverhaltensmuster angenommen werden.

3. Die *Verbraucherfreundlichkeit* ist das Innovationsziel in der nächsten Phase des Wettbewerbs. Es werden für das Produkt die Bequemlichkeit, die Bedienfreundlichkeit, die Einfachheit der Nutzung in Wertschöpfungsprozessen verbessert. Kunden kaufen das Produkt mit ähnlicher Funktionalität und Zuverlässigkeit, aber für sie geeigneteren Verbraucherfreundlichkeit.
4. Am Ende dieses Wettbewerbsprozesses können alle Produzenten jegliche Formen des Produktes herstellen. Das Produkt ist also ausgereift und in Funktionalität, Qualität sowie Verbraucherfreundlichkeit sehr ähnlich. An dieser Stelle wird nun der Preis zum diskriminierenden Element eines (heterogenen) Produktes.

Bei diesen Wettbewerbsphasen entsteht laut Christensen eine Disharmonie zwischen den konkurrierenden Unternehmen im Regime und Kundenanforderungen. Das begründet sich dadurch, dass durch die Veränderung der Rahmenbedingungen neue Anforderungen an Produkte entstehen, die nicht in den Stufen des Innovationswettbewerbs berücksichtigt werden⁹. Christensen spricht hierbei von einem Effekt dieses Wettbewerbs, dem „overshoot demand“, der deshalb entsteht, weil die wettbewerbstreibenden Unternehmen die Produktentwicklung nicht originär an sich verändernden Kundenwünschen ausrichten, sondern versuchen, alle ihnen gegebenen technologischen Möglichkeiten auszunutzen, um Wettbewerbsvorteile im Massenmarkt zu erlangen. Dabei verhalten sich die erreichbaren Verbesserungen am Produkt wie eine S-Kurve: am Anfang, wenn die Funktionalität auf die Kunden abgestimmt wird, sind durch Fehliterationen von Produktentwicklung und Nachfragereaktion, langsame Verbesserungen möglich, im Mittelteil kann das Potenzial der Technologie effizient ausgeschöpft werden und am Ende sind kaum mehr Vorteile für den Kunden erreichbar durch Innovationen, da die Technologie bereits durchoptimiert ist. Man könnte dies als ein Gesetz des sinkenden Grenzertrages für Innovationsaufwendungen bezeichnen.

Die Unternehmen, die sich auf einem Massenmarkt etabliert haben, besitzen allerdings auch wenig Anreiz dazu, eine radikal neue Technologien abseits von Ihrem bestehenden, eigenen Technologiepfad zu entwickeln und in den Markt einzuführen, auch wenn der obere Teil der S-Kurve erreicht ist. Der entscheidende Grund dafür ist, dass die etablierten Stammkunden (das value network) eine radikale Alternative ablehnen, denn auch deren Produktionsprozesse oder das Paradigma der Produktnutzung sind auf das Angebot des Massenmarktes eingestellt. Weiterhin ist zu beachten, dass etablierte Unternehmen ihr eigenes Marktumfeld und die etablierten Strukturen destabilisieren müssten, wollten sie radikale Innovationen erfolgreich in den Markt einführen. Sie tun dies nicht, sondern schützen vielmehr den eigenen Technologieentwicklungspfad gegen radikale Innovationen oder den Markteintritt neuer Akteure weil anderenfalls ihr entwickeltes Know-How, die Patente, Produktionskapazitäten etc. entwertet würden. Demgegenüber steht, dass sich die

⁹ Christensen zeigt erstmalig das Muster anhand der Disk-Drive-Industrie für Großcomputer auf, welche die Nachfragebedürfnisse der Notebook-Industrie nicht mehr in den Innovations-Wettbewerb integrieren konnte. Die Laufwerk- Größe und das Gewicht, welche beim Notebook maßgebliche Parameter von Laufwerken waren, wurden ignoriert zu Gunsten der Kunden im Großcomputermarkt.

Nachfrageentwicklung, Machtverhältnisse und Marktanteile, sowie Profite bei einer radikal neuen Technologie kaum prognostizieren lassen. Während die derzeit etablierten Unternehmen aus einer Nische zu einem Massenmarkt gewachsen sind, können sie aus ökonomischem Kalkül heraus, dem Innovator's Dilemma, den erreichten Massenmarkt nicht für einen zu entwickelnden Nischenmarkt destabilisieren bzw. riskieren. Man unterschätzt die Entwicklungsmöglichkeiten der neuen Technologie (und deren Nachfrage) und überschätzt die Potenziale der eigenen (alten) Technologie. Das intensivieren der Produktentwicklungslinie nach dem vorgestellten Muster führt nach Christensen daher zum Scheitern der etablierten Unternehmen am Markt (Christensen 1997a, 1997b).

Im nächsten Abschnitt werden aus der Perspektive der Nische die Entwicklung des Regimes und die Chancen für einen Technologiewandel (Regimeablösung) beschrieben und theoretisch unterlegt.

2.4. DIE MARKTEINTRITTSMÖGLICHKEITEN AUS DER NICHE HERAUS

Als Teil des Regimes haben Unternehmen in Massenmärkten nach dem Innovator's Dilemma keinen Anreiz, den eingeschlagenen technologischen Entwicklungspfad zu verlassen. Daher haben neue Unternehmen nur dann eine Eintrittsmöglichkeit in den Massenmarkt, wenn deren Technologie zum Entwicklungspfad des Regimes beiträgt. Dies wäre der Fall wenn beispielsweise Kompetenzen von Unternehmen im Regime verbessert oder eine spezifische technologische Herausforderung gelöst würde. Der Markteintritt wird immer dann vom Regime verhindert, sobald die Geschäftsgrundlage des Regimes durch eine Innovation in Frage gestellt wird. Christensen und Rosenbloom (1995) erläutern daher, dass Unternehmen mit einer radikalen Innovation typischerweise ein eigenes Regime entwickeln müssen, das zunächst eine unbefriedigte Marktnachfrage bedient, eine Nische. Diese Nische entsteht aus dem Verhalten des Regimes im bestehenden Massenmarkt, wie mit dem Innovationswettbewerbsverhalten im vorangegangenen Abschnitt erläutert wurde. Unternehmer und Inventoren experimentieren in Nischen mit Nachfragereaktionen auf verschiedene Technologieangebote. Nach Sydow et al. 2009 geschieht dies in drei Phasen, bei sich die Vielfalt möglicher Lösungsansätze zur Bedienung der Nischennachfrage immer weiter reduziert, so dass sich eine Gewinnertechnologie stückchenweise herausbildet. In der dritten Phase entsteht der sogenannte Lock-In für diese Technologie. Das heißt, man hat eine Funktionalität gefunden, welche die Ansprüche der Kundengruppe in der Nische abdeckt. Eine Folge des Lock-In ist, dass man die Funktionalität des Produktes in diesem Markt nicht mehr ändert im weiteren Zeitverlauf, sondern gar stabilisiert im späteren Regimeverhalten (siehe Innovator's Dilemma). Das Regime sieht trotz sich etablierender Konkurrenz in den Nischen auf einem Wachstumspfad und unterschätzt das Potenzial einer neuen Technologie, einen neuen Markt zu entwickeln. Mit steigender Nachfragebefriedigung durch eine Nischentechnologie und dies ergänzt mit einem steigenden Druck aus der soziotechnischen Landschaft (z.B. eine soziale Herausforderung wie die Umweltbelastung durch fossile Kraftstoffnutzung in der Mobilität) wird das Regime zunehmend destabilisiert. Der wesentliche Vorteil der neuen Technologie ist dabei dadurch gegeben, dass die Rate der Verbesserung der Produktleistung bei den neuen

Technologien höher ist als bei den etablierten Technologien, denn dort wird eine bereits durchoptimierte Technologie am oberen Rand der S-Kurve versucht zu verbessern. Die neue Technologie befindet sich jedoch noch im unteren Bereich der S-Kurve. Es kann billiger und schneller Verbesserungen entwickeln und damit das eigene Kundenportfolio ausweiten.¹⁰ Das ist in Summe der Effekt „Attacker’s Advantage“ – er resultiert direkt aus dem Regimeverhalten (Christensen und Rosenbloom 1995). In der Folge wird typischerweise das etablierte Regime immer weiter destabilisiert und durch einen Technologiewandel schließlich abgelöst.

Was nach einem Technologiewandel mit dem alten Regime geschieht ist nicht in der MLP-Theorie beschrieben. Dieser Aspekt wird im Folgenden diskutiert und der MLP hinzugefügt.

2.5. DIE KOEXISTENZ VON VERKEHRSSYSTEMEN

Schumpeter (1939) beschreibt als Folge eines Technologiewandels schöpferisch-zerstörende Wirkungen bei der Ausrichtung der Wirtschaft und Gesellschaft auf die neue Technologie durch Umstrukturierungsprozesse. Unter diesem Einfluss kann eine veraltete Technologie vollständig obsolet und die Produktion eingestellt werden (die „Zerstörung“). Ggf. können einige produzierende Unternehmen in Nischenmärkte ausweichen (z.B. „Kutschen“-Herstellung für den Pferderennsport).

Die Entwicklung der Eisenbahn und damit die Regimeablösung des Binnenschiffes und der Pferdekutsche im Güterverkehr, sowie die Entwicklung des Lkw und damit die Regimeablösung der Eisenbahn als die damals jeweils dominanten Güterverkehrssysteme waren aufeinander folgende Technologiewandelprozesse im Verkehr. Es ist jedoch bekannt, dass sowohl das Binnenschiff als auch die Eisenbahn als Verkehrssysteme noch existieren und Nachfrage bedienen, zusammen etwa 30% der Güterverkehrsleistung in Deutschland. Zunächst ist also festzuhalten, dass die Verkehrssysteme und die jeweiligen Regime, die „alten“ und die „neuen“, durchaus parallel weiterbestehen können.

Zwar können wir heutzutage eine Koexistenz von Verkehrssystemen beobachten, jedoch gab es auch immer wieder Verkehrstechnologien, die marktbereinigenden Kräften unterlagen, wie beispielsweise die Pferdestraßenbahn als städtisches ÖV- und Güterfeinverteilungssystem, das Pferd und die Kutsche als Individualverkehrsmittel im Personen- und Güterverkehr oder die Schifffahrt sowie Zeppeline im interkontinentalen Personenverkehr.

¹⁰ Dies wurde von Christensen und Rosenbloom anhand der Notebook-Industrie gezeigt (siehe Fußnote Nr. 9). Die Möglichkeiten des Notebooks, den zukünftigen Massenmarkt zu bilden, wurde von dem Regime unterschätzt, dass Disk Drives für Großcomputer und stationäre PCs herstellte.

Diese Parallelisierung¹¹, die Koexistenz von Verkehrssystemen, ist ein spezielles Phänomen im Verkehrswesen¹² und stellt den eigentlichen Grund dar, warum es zu scheinbaren Widersprüchen (Dilemmata) zwischen monomodaler und integrierter Verkehrspolitik kommt (siehe Einleitung).

Um die Hintergründe der Parallelisierung bzw. der Marktberreinigung zu analysieren, könnte man einerseits auf bestimmte Marktgegebenheiten im Verkehr verweisen, wie sie zum Beispiel in der sog. „Besonderheitenlehre des Verkehrs“¹³ als Begründung für staatliche Interventionen in dem Sektor herangezogen werden: Die Existenz natürlicher Monopole, ruinöser Wettbewerb, Anpassungsmängel, Verkehr als öffentliches Gut, Gemeinwirtschaftlichkeit und externe Effekte (vgl. Pietrantonio und Pelkmans 2004). Andererseits könne man argumentieren, dass gerade die vielfältigen Eingriffe des Staates – der sich auf die Besonderheiten des Sektors beruft – eine Parallelisierung fördert. Zudem sind es die Regime selbst, welche die Besonderheitenlehre für sich proklamieren und damit staatliche Eingriffe induzieren. Die Besonderheitenlehre ist somit ein Werkzeug im Selbststabilisierungsprozess des Regimes. Aufgrund der logischen Interdependenzen wird im Folgenden der Versuch gemacht, die wesentlichen Gründe für die Parallelisierung von Verkehrssystemen zusammenzustellen. Diese basieren auf den Arbeiten von Heinze (1985) und Schöller (2006) und werden um weitere Eigenschaften der Technologie und der Nutzerpräferenzen ergänzt.

1. **Hybridisierung der Entscheidungsstrukturen:** Die Hybridisierung der Entscheidungsstrukturen beschreibt die politische Einflussnahme auf Entscheidungen oder Entscheidungsgrundlagen bzw. Entscheidungen von Verkehrsunternehmen (vgl. Theys, 2005). Dies beinhaltet Subventionen, Konzessionen bis hin zu öffentlichen Unternehmen. Diese Aspekte haben eine komplexe Entscheidungsstruktur zur Folge, in die sich auch politische und ideologische Faktoren einmischen. Dies bedeutet aber auch, dass jede erfolgreiche Verkehrstechnologie fest in den politischen Strukturen verankert ist. Somit sind politische Akteure und Interessen vor und nach einem Technologiewandel aktiv, die mittels Einflussnahme auf den Technologiewandelprozess auch ihre eigenen Interessen durchsetzen.
2. **Langlebiger Infrastrukturbestand:** Vergleicht man die Fälle, bei denen die Verkehrssysteme parallelisiert sind mit denen, die dem marktwirtschaftlichen

¹¹ Als Parallelisierung der Verkehrssysteme bezeichnen wir dezentrale oder zentrale Aktivitäten zur Erhaltung der Verkehrssysteme am Markt, mit der resultierenden Koexistenz der Verkehrssysteme.

¹² Es ist zu untersuchen, ob nicht auch andere Sektoren dieses Phänomen aufweisen. Beispielweise die ebenfalls regulierten Sektoren für Energie und Telekommunikation bieten sich an. Eine Allgemeingültigkeit zu postulieren und nachzuweisen ist jedoch nicht Gegenstand dieses Artikels.

¹³ Aufgrund neuerer technologischer Möglichkeiten und der Möglichkeit der Desintegration von Netzwerkindustrien (Informationstechnik) sowie validierter industrieökonomischer Modelle – wie z.B. angreifbare Märkte – wird die Eignung der Besonderheitenlehre zur Argumentation staatlicher Eingriffe seit einigen Dekaden stark diskutiert.

Reinigungsprozess erlegen sind, so ist auffällig, dass bei den obsolet gewordenen Verkehrssystemen:

- a) entweder keine aufwändige Infrastruktur für das Verkehrssystem errichtet wurde (z.B. für Zeppeline) oder
- b) dass die Infrastruktur nach dem Technologiewandel vom neuen Verkehrssystem (modifiziert) übernommen werden konnte (wie im Falle der Pferdestraßenbahn durch die elektrische Straßenbahn) und
- c) dass in vielen Fällen, in Europa sogar in allen Fällen, die Infrastruktur der „alten“ Technologie im Staatseigentum ist (ggf. privat betriebene Infrastrukturabschnitte stellen Ausnahmen davon dar).

Die Existenz einer spezialisierten Infrastruktur, die im staatlichem Besitz ist, führt nach einem Technologiewandel unweigerlich zur Frage, ob diese umgewidmet bzw. renaturiert oder für den etablierten Verkehrssystembetrieb erhalten werden soll. Für eine Umwidmung fehlen oftmals wirtschaftlich tragfähige Ideen. Eine Argumentation zur Weiternutzung der Infrastruktur und damit zu deren Erhalt ist daher im politischen Diskurs wahrscheinlicher als für eine Umwidmung/Renaturierung mit öffentlichen Geldern.

3. **Dauer der Umstrukturierungsprozesse:** Die lange Dauer der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umstrukturierungsprozesse die in einem Kondratieff stattfinden führen dazu, dass eine alte, wenn auch degenerierende Nachfragestruktur über Dekaden¹⁴ hinweg weiter besteht und transportseitig bedient werden muss. Dies führt zu einer Polarisierung von politischen Bekenntnissen, da alte und neue Wirtschaftsformen und deren Transportnachfrage sowie alte und neue Verkehrstechnologien im Wettbewerb miteinander stehen. In den bisherigen Technologiewandelprozessen im Verkehrswesen, z.B. von der Eisenbahn zum Lkw, wurden Schutzmechanismen für das ältere Verkehrssystem (im Falle der Eisenbahn z.B. Tarifbindungen und Konzessionen) politisch installiert, um alte Transportmärkte zu stabilisieren. Die Deregulierung und Liberalisierung im Verkehr hat – zufällig oder nicht – dann verstärkt eingesetzt, als der Lkw ausgereift war und sich die Umstrukturierung der Wirtschaft und der Gesellschaft auf den Lkw intensiviert (zum Ende des vierten Kondratieffs in den 80er Jahren).
4. **Heterogene Dienstleistungen von Verkehrssystemen:** Verkehrssysteme untereinander sind bei weitem keine perfekten Substitute. Heterogenität der Transportdienstleistungen entsteht durch eine große Spannweite der Dienstleistungscharakteristika mit verschiedenen Dimensionen: (i) Größe der Transportgefäße (Fahrrad für einzelne Pakete bis hin zu Containerschiffen), Art der Güter (fest, flüssig, gasförmig etc.), (ii) Geschwindigkeit (von wenigen km/h eines Binnenschiffs bis fast tausend km/h eines Frachtflugzeugs), (iii) räumliche Dimension (lokale Distribution bis hin zu weltweiten Transportnetzen), (iv) Grad logistischer Mehrwertdienstleistungen (reiner Transport bis hin zur

¹⁴ Oftmals werden die Marktkräfte für eine Nachfragestruktur auch durch strukturpolitische Maßnahmen beeinflusst. Die Dekaden andauernde Subvention des Kohlebergbaus in Deutschland ist ein Beispiel hierfür.

Kontraktlogistik), (v) Verfügbarkeit der Infrastruktur (flächig vs. Achsen wie bspw. die Rhein-Wasserstraßen) und (vi) Preis pro Tonnenkilometer. Dieser Charakteristikenraum trifft auf eine heterogene Nachfrage nach Transporten.

Die Gründe der Parallelisierung der Verkehrssysteme lassen sich in Verkehrssystemendogene (Infrastrukturbestand und Heterogenität) sowie -exogene Eigenschaften (Hybridisierung, Dauer der Umstrukturierungsprozesse) zusammenfassen. Welche theoretisch-empirischen Konsequenzen haben diese Eigenschaften der Parallelisierung?

1. **Ressourcenkämpfe als Folge der Hybridisierung der Entscheidungsstrukturen:** Es entstehen mit Aufkommen einer neuen Technologie neue politische Institutionen, z.B. Kontrollinstanzen und politisch verantwortliche Ressorts. Dies hat konkurrierende politische Ziele und eine Konkurrenz um öffentliche Ressourcen zur Folge. Zwangsläufig werden öffentliche Gelder in irgendeiner Form zwischen den Verkehrssystemen aufgeteilt. Die Historie zeigt, dass der neuesten Technologie die meisten Ressourcen zugeteilt werden (vgl. Schöller 2006). Das bedeutet im Umkehrschluss auch, dass nicht alle Ressourcen und fördernden Maßnahmen für die neue Technologie verfügbar werden, da auch alte Verkehrssysteme Finanzmittel zugeteilt bekommen. Somit sind einerseits nötige Ressourcen für eine Modernisierung der alten Verkehrssysteme beschränkt, andererseits wird die neue Technologie in der Entfaltung gebremst. Disharmonien in politischen Zielsystemen (durch konkurrierende politische Ressorts) erzeugen dazu Schutzmechanismen für das eine oder das andere Verkehrssystem. Insgesamt schwächen diese Prozesse eine nachfrageorientierte Ausrichtung der alten und neuen Verkehrssysteme und vor allem deren mögliche integrative Entwicklung. Es entstehen Ineffizienzen im Verkehrssystem und Externalitäten im Verkehrsmarkt.
2. **Nachfrageorientierter Rückbau als Folge für den Infrastrukturbestand:** Heinze und Kill (1988) führen anhand einer historischen Betrachtung am Beispiel der Eisenbahn aus, dass nach einer Überdimensionierung des Verkehrsnetzes am Ende der Wachstumsphase des Verkehrssystems ein nachfrageorientierter Rückbau der Infrastruktur und des Angebotes erfolgte. Das bedeutet, dass der erreichte Infrastrukturstandard nicht aufrechterhalten und ggf. modernisiert wurde, und dass eine Demontage nicht mehr rentabler Strecken stattfand. Unterbleiben staatliche Investitionen zum Erhalt und zur Modernisierung des bestehenden Netzes, ist ein immer weiter schrumpfendes Netz mit einem Kern und ausgedünnten Rändern die Folge¹⁵. Die dadurch immer geringer werdende Flächenabdeckung hat auch Nachfragerückgänge im Kernnetz zur Folge, auf dem in der Folge Verbindungen reduziert werden. Aufgrund solcher Zweitrundeneffekte wird die Erosion des alten Netzes verstärkt. Man kann davon ausgehen, dass die Verlagerung vermehrt auf die

¹⁵ So war der ab 1850 einsetzende Trend zur Verbreiterung einiger Kanäle (im Dt. Zollverein, im Dt. Reich und der Bundesrepublik) eine eben diesem Rückbau entgegengesetzte politische Maßnahme. In Ländern wie den USA oder England (hier nach einer sogenannten Canal Mania von 1790 bis ca. 1810), degenerierte mit der Durchsetzung der Eisenbahn das Wasserwegesystem für den Güterverkehr nahezu vollständig.

neue Technologie stattfindet, denn nur in Einzelfällen hat die noch ältere Technologie die Leistungsfähigkeit und die Raumanbindung, die Nachfrage zu übernehmen. Demzufolge ist durch die Rückbauphase im alten Verkehrssystem ein Nachfrage-verstärkender Effekt zu Gunsten des neuen Verkehrssystems zu konstatieren. Aufgrund des geschilderten Schrumpfungsprozesses, bei dem keine Netzwerkeffekte beachtet werden, ist die verbleibende Infrastruktur tendenziell über das wirtschaftliche Optimum hinaus geschrumpft.

- 3. Das technologische Patt als Folge der wirtschaftlichen Umstrukturierungsprozesse:** Mit jeder erfolgreichen Basistechnologie im Verkehr werden neue Einsatzfelder möglich und damit neue Marktstrukturen errichtet, die in seinen Anforderungen dem neuen Verkehrssystem entsprechen - die Möglichkeiten des Verkehrssystems beeinflussen die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Prozesse und richten so die Nachfrage auf das neue Verkehrssystem aus¹⁶. Dies findet normalerweise über einen langen Zeitraum, d.h. über mehrere Dekaden hinweg, statt. Allerdings ist den Wirtschaftsakteuren bewusst, dass der alte Markt nicht mehr wachsen sondern schrumpfen wird bzw. es bereits tut. Da zuvor alle Innovations-Wettbewerbsphasen beim alten Verkehrssystem durchlaufen wurden (siehe Innovator's Dilemma), führte die letzte Phase, der Preiswettbewerb dazu, dass die Produktion schließlich auf dem Niveau der Grenzkosten erfolgt. Damit ergeben sich für die alte Technologie keine Investitionsanreize in Innovationen mehr, da Renditeerwartungen in einem schrumpfenden Markt bei Preisen nahe Grenzkostenpreisen nicht erfüllt werden können. Darüber hinaus erlaubt die durchoptimierte Technologie kaum mehr deutliche Innovationsleistungen bzw. nur noch mit hohem Ressourceneinsatz. Das sind die Bedingungen für ein technologisches Patt – keine Innovation bedeutet kein Marktwachstum und kein Marktwachstum bedeutet keine Innovationsinvestitionen. Das technologische Patt und die Rezession wären somit für parallelisierte Verkehrssysteme unausweichlich. Laut Mensch (1975) hilft nur eine Basisinnovation, um die Pattsituation aufzulösen.
- 4. Heterogenität begünstigt ein Nischenangebot:** Die Historie zeigt, dass ein Teil der Kosten für ein parallelisiertes Verkehrssystem nicht eigenwirtschaftlich sondern öffentlich finanziert werden. Würde die öffentliche Finanzierung ausfallen, wären viele Angebote nicht mehr aufrecht zu halten. Es können mittels öffentlicher Finanzierung jedoch nicht alle Angebote subventioniert werden. Dies bedeutet auch den Wegfall von Infrastrukturanschlüssen für Kunden, deren Transportanforderungen weiterhin gut gepasst hätten. Die Alternative wäre jedoch eine dauerhafte Subventionierung in Verkehrssysteme und deren Nachfrager aus einer vergangenen Wirtschaftsperiode (siehe Punkt 3 zur Umstrukturierung der Wirtschaft und Gesellschaft durch Basisinnovationen). Die Spezialisierung auf Nischen, wie der maritime kombinierte Verkehr im Schienengüterverkehr, wird durch diese Prozesse begünstigt.

¹⁶ Laut Heinze (1985) war diese Spezialisierung nie im Vorfeld sichtbar, denn die eigentliche „Begabung des Verkehrssystems“ zeigte sich erst durch Lerneffekte bei der Anwendung.

In der Abbildung 2 ist die MLP um die Parallelisierung der Verkehrssysteme erweitert dargestellt. Dazu ist die Abbildung 1 in der Zeitachse verlängert worden, so dass drei Technologiewandelprozesse abgebildet sind. Regime 1 kann als Binnenschifffahrt, Regime 2 als Schienengüterverkehr und Regime 3 als Lkw-basierte Logistik interpretiert werden.

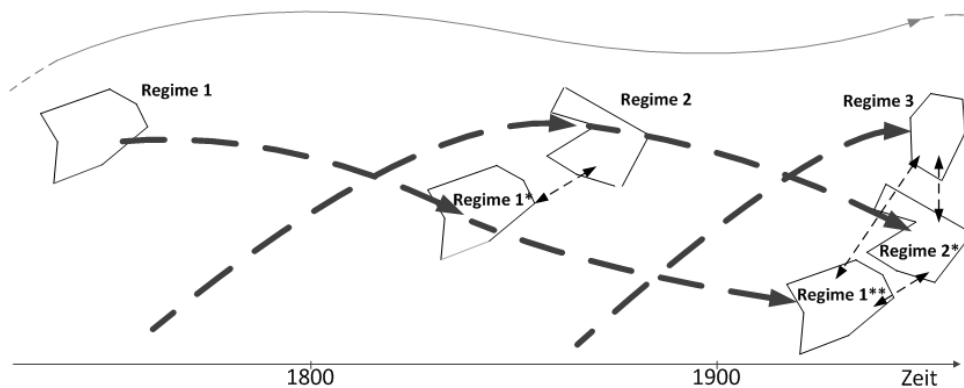


Abbildung 2: Prozess der Parallelisierung der Verkehrssysteme nach einem Technologiewandel im Schema der MLP.

Eine Markierung der Regime mittels der Sternung (z.B. von Regime 1 zu Regime 1*) signalisiert im Zeitverlauf eine Veränderung der Regime in ihrer Konstitution, Marktmacht und Relevanz im Transportmarkt. Mit der Parallelisierung der Regime entstehen gegenseitige Wechselbeziehungen (Dilemmata), welche durch dünne gestrichelte Pfeile in der Abbildung sind. Die dicken gestrichelten Pfeile zeichnen die Entwicklung der Verkehrssysteminnovationen im Zeitverlauf nach.

3. Theoriegeleitetes Konzept der Verkehrssystemevolution

Als Erkenntnisse der vorangegangenen Abschnitte kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Als Träger einer wirtschaftlichen langen Welle (Kondratieff) verändert eine Basisinnovation die bestehenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Paradigmen: sie werden auf die neue Basisinnovation ausgerichtet. Dies gilt auch für Verkehrssysteme, die entweder solche Basistechnologien darstellten bzw. deren Nachfrage und Technologien vom gesamten Wirtschaftssystem beeinflusst werden.
- Radikal neue Verkehrssysteme sind eine Reaktion auf wirtschaftliche und gesellschaftliche Umstrukturierungsprozesse aufgrund vorangegangener Basisinnovationen außerhalb des Verkehrs: es veränderten sich die Anforderungen an das Verkehrsangebot derart, dass eine radikal neue Technologie im Verkehrssystem nötig wurde, um die neue Nachfragestruktur zu bedienen. Die alte

Technologie war dazu nicht mehr leistungsfähig und entwicklungsfähig genug. Diese Veränderung des Umfeldes (der soziotechnischen Landschaft) ist eine Basis dafür, dass neue Transporttechnologien aus Nischen relevant werden. Dem ist ein Prozess vorausgegangen, in dem eine Gewinnertechnologie aus einer Vielzahl von Lösungsansätzen gefunden wurde (Lock-In), welche die Nischennachfrage erfolgreich bedienen kann. Der Lock-In für diese Technologie wird im weiteren Zeitverlauf nicht verlassen.

- Die typische Markteintrittsmöglichkeit für radikale Verkehrssystem-Innovationen entsteht durch das Verhalten des dominanten Regimes: von der Massentechnologie unbefriedigte und unterschätzte Nachfrage ermöglicht den Einsatz für eine radikal neue Nischentechnologie. Für die Ablösung eines Massenmarktregimes durch eine junge Technologie wird der sogenannte Attacker's Advantage ausgenutzt: Die Technologie kann eine Etablierte ablösen, weil diese erst am Anfang der Entwicklung steht und somit mit relativ geringem Kapitaleinsatz hohe Leistungssteigerungen erreicht werden können. Das Wachstumspotenzial der Nische generiert das hierfür nötige Kapital. Dem gegenüber kann eine durchoptimierte Technologie nur noch mit hohem Kapitaleinsatz geringe Leistungssteigerungen realisieren. Eine gravierende und relative schnelle Änderung der sozio-technischen Landschaft (z.B. Katastrophe oder neue drastische Regularien) sind die andere typische Markteintrittsmöglichkeit.
- Bedient eine Technologie den Massenmarkt, wird typischerweise ein Wettbewerbsmuster in vier Stufen (Funktionalität, Qualität, Bedienfreundlichkeit und Preis) mit inkrementellen Innovationen durchgeführt. In der Regel entkoppelt sich die Technologieentwicklung dabei von sich verändernden Nachfragebedürfnissen. Weiterhin werden radikale Innovationen typischerweise nicht in die Technologieentwicklung aufgenommen - sie werden verhindert, da der regimekonforme Technologiepfad durch radikale Innovationen gefährdet würde (Innovator's Dilemma).
- Wird ein etabliertes Verkehrssystem durch ein anderes bei einem Technologiewandel abgelöst, kann das etablierte Verkehrssystem mit öffentlichen Mitteln vor Marktkräften geschützt werden – Verkehrssysteme werden dann parallelisiert. Endogene Charakteristika (nicht nachnutzbarer Infrastrukturbestand und Heterogenität der Verkehrssysteme) und exogene Charakteristika (Hybridisierung der Entscheidungsstrukturen und Dauer der Umstrukturierungsprozesse) des alten Verkehrssystems bedingen eine Parallelisierung. Für ein parallelisiertes Verkehrssystem ist das technologische Patt unausweichlich, denn eine alte, wenn auch durchoptimierte Technologie kann einer neuen und veränderten Nachfragestruktur nicht gerecht werden. In einem in der Folge schrumpfenden Markt werden keine Innovationsinvestitionen getätigt und deshalb auch keine Marktdynamik induziert. Um die Pattsituation aufzulösen besteht die Anforderung, mit einer grundlegenden, radikal neuen Innovation einen neuen Markt und eine neue Wertschöpfung zu entwickeln.

Heinze und Kill (1988) folgend, lässt sich die Verkehrssystemevolution in vier Phasen einteilen. Diese wären, mit den jeweiligen erklärenden Wirkungsmechanismen, wie folgt charakterisiert:

1. die Stabilisierung eines radikal neuen technologischen Pfades in einer Nischenanwendung (Lock-In),
2. dem Technologiewandel durch die Regimeablösung und der Neukonstitution eines dominanten Regimes (Attacker's Advantage),
3. einer Wachstumsphase des neuen Regimes (Innovator's Dilemma) und
4. der Degeneration und ggf. der Parallelisierung der Verkehrssysteme (technologisches Patt).

Die Gesamtverkehrssystemevolution ist durch einen Phasenversatz von Verkehrssystemen in einem Markt und durch die Interdependenz der Wirkungsmechanismen gekennzeichnet. Als Startpunkt der Überschneidung der Evolutionsphasen von Verkehrssystemen ist die Wachstumsphase einer Technologie mit der Stabilisierungsphase einer anderen dargestellt. Der Hintergrund hierfür ist, dass das Wachstum eines Massenmarktes Marktnischen auftritt. Das ist Nachfrage, für die die Massentechnologie keine Angebotsoption darstellt. Neue Ideen für diese Nischenanwendungen werden mit (radikalen) Innovationen entwickelt und versucht als Technologie zu stabilisieren (Überschneidung Phase 3 des und Phase 1 des anderen Verkehrssystems). Zum Ende der Wachstumsphase eines Verkehrssystems entstehen die Rahmenbedingungen für den Technologiewandel durch eine andere, zuvor stabilisierte Technologie. Das ist mit dem Zusammenhang vom Innovator's Dilemma und dem Attacker's Advantage erläutert worden. Wenn sich der Technologiewandel vollzieht, wird die abgelöste Technologie in die Degenerationsphase gedrängt (Überschneidung Phase 2 und Phase 4). In der Degenerationsphase wären Basisinnovationen nötig, um das sich einstellende Technologische Patt zu überwinden.

Die vier Evolutionsphasen eines Verkehrssystems sind mit den entsprechenden Innovationstätigkeiten je Phase, sowie der Überschneidung von Phasen für den technologischen Fortschritt in der nachstehenden Abbildung 3 skizziert. Die Ordinate drückt die Einflüsse neuer Verkehrssysteme auf die Produktivität des Angebotes und der Nachfrage aus: erfolgreiche Basisinnovationen bieten deren Nachfrager eine völlig neue Qualität für Inputfaktoren (Preis, Funktion) und auf der Angebotsseite verändert sich die Produktivität des Verkehrssystems (billigere Produktion, erhöhte Kapazität). Die Ausnutzung dieser neuen Qualität von Inputfaktoren entspricht der Ausrichtung des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Paradigmen auf die neue Technologie. Der Verlauf einer S-Kurve in den Phasen zeigt, dass es unterschiedliche Innovationsaktivitäten in der Verkehrssystemevolution gibt: Am Anfang radikale Innovationen, in der Steigungsphase inkrementelle und am Sättigungspunkt der S-Kurve wenige bis keine Innovationen mehr, mit sinkenden Grenzerträgen der Innovationsinvestitionen.

Abbildung 3 bildet einen Teil der historischen Entwicklung im Landverkehr und den Status des heutigen Güterverkehrssystems ab: 1) eine komplexe Angebotsstruktur durch Binnenschiff, Schiene und Straße¹⁷, 2) eine geringe bis keine Innovationsfähigkeit mehr bei Binnenschiff und Schiene und 3) zahlreiche Ansätze zur Stabilisierung einer „Revolution der Mobilität“¹⁸.

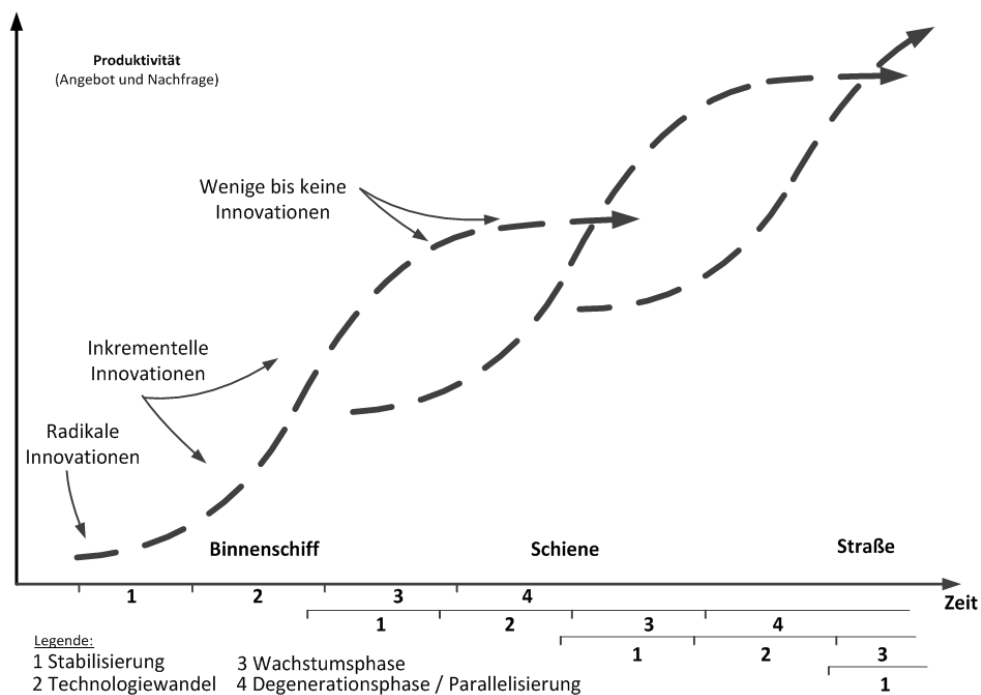


Abbildung 3: Evolutionsphasen und Phasenversetzung bei Verkehrssystemen (in Anlehnung an Heinze und Kill (1988)).

¹⁷ Andere Verkehrsträger wie Rohrfernleitungen und Luft sind wegen ihrer Relevanz an der Güterverkehrsleistung und zur besseren Visualisierung ausgeblendet, könnten prinzipiell aber hinzugefügt werden.

¹⁸ Beispielsweise: Für das Regime wäre die „Revolution“ das automatische und vernetzte Fahren auf der Straße, für einige politische Akteure die Elektromobilität (bisher nicht für das Regime), sowie zahlreiche Ideen für den Kombinierten Verkehr, einen neuen Schienengüterverkehr und Drohnen.

4. Zusammenfassung der Erkenntnisse und Ausblick auf die Nutzung der Verkehrssystemevolution für die Ableitung von Politikprinzipien

Die klassische Innovationsförderung in der Verkehrspolitik führt bisher immer zu dem Dilemma, dass sich monomodale Fördermaßnahmen negativ auf die Märkte konkurrierender Verkehrsträger auswirken. Daher werden sinnvolle innovationsfördernde Maßnahmen oft unterlassen oder es werden komplexe und oder für den Steuerzahler teure Kombinationen entwickelt. In der Konsequenz des Dilemmas erscheint die verkehrspolitische Entscheidungsfindung und -begründung gehemmt und als ausschließlich von Partikularinteressen gesteuert. Vor diesem Hintergrund hatte der Artikel zum Ziel, eine theoretische Basis für eine konsistente innovationsfördernde und integrierte Verkehrspolitik zu erarbeiten.

Die klassischen mikroökonomischen Theorien zur Analyse und Bewertung von innovationsfördernden Maßnahmen können das Dilemma nicht aufgelöst werden – vielmehr resultiert das Dilemma teilweise aus den Theorien, wie in der Einleitung dargestellt wurde. Daher ist in diesem Artikel eine andere, eine evolutionäre Perspektive auf das Verkehrssystem eingenommen worden. Allerdings boten bestehende Ansätze hierzu bisher keine Erklärungsansätze für empirisch ermittelte Evolutionsschritte und, im Falle der MLP, blendeten die Besonderheit im Verkehrswesen aus, dass Verkehrssysteme (und Regime) parallel existieren. Aufbauend auf der bestehenden Literatur zur Evolutionsökonomie, Industrieökonomie und Innovationstheorie wurden Theorien für die Detailprozesse zur Evolution eines Verkehrssystems eingefügt (Theorie der Langen Wellen, Lock-In, Attacker's Advantage, Innovator's Dilemma, Technologisches Patt) und durch die Analyse der Koexistenz von Verkehrssystemen die Besonderheiten der Gesamtverkehrssystem abgebildet. Somit besteht nun ein theoriegeleitetes Konzept, mit dem sich die Verkehrssystemevolution erklären lässt.

Das Konzept der Verkehrssystemevolution kann wie folgt zusammenfasst werden: Die Entwicklung eines Verkehrssystems durchläuft vier Hauptphasen: Stabilisierung, Technologiewandel, Wachstum und Degeneration. Innerhalb einer Phase können idealtypische Muster der Entwicklung benannt werden, welche in starkem Zusammenhang zu Innovationen und der Innovationsfähigkeit stehen. Weiterhin bedeuten diese Phasen nicht nur einen zeitlichen Ablauf der Evolution eines Verkehrssystems, sondern auch die Beeinflussung der Entwicklung koexistierender Verkehrssysteme. Der entscheidende Punkt ist, dass es einen systematischen Phasenversatz von den Evolutionsphasen koexistierender Verkehrssysteme gibt, welche mit den dargestellten Theorien erläutert werden können. Ein Mehrwert der Arbeit ist somit, dass das Muster der Verkehrssystemevolution nicht mehr nur beschrieben, sondern erklärt werden kann.

Es stellt sich nun die Frage, wie dieses Konzept eine konsistente, innovationsfördernde und integrierte Verkehrspolitik unterstützen kann. Mit dieser Arbeit ist der Schritt von einer deskriptiven MLP (siehe z.B. die Diskussion der Vor- und Nachteile in Whitmarch 2012) zu einem Ansatz erfolgt, der Zusammenhänge und Wirkungsmechanismen erklären kann. Der entscheidende Parameter des verkehrspolitischen Agierens ist die Berücksichtigung

von den Innovationsbedingungen und der Innovationsfähigkeit von Verkehrssystemen, die sich je nach Evolutionsphase ergeben.

Die Erkenntnisse zu den Innovationsbedingungen und der Innovationsfähigkeit von Verkehrssystemen je Phase müssten in einem weiteren Arbeitsschritt ein Schema überführt werden, mit dem sich konkrete Fälle analysieren lassen.

5. Zusammenfassung

Die aktuelle Verkehrspolitik ist deutlich von innovationsfördernden Maßnahmen geprägt. Diese sollen eine nachhaltige Entwicklung von Wirtschaft und Verkehr erreichen – wozu die Innovationsförderung grundsätzlich ein geeignetes Mittel ist. Allerdings besteht mit den derzeit angewandten Politikprinzipien ein Dilemma: Maßnahmen zu Gunsten eines Verkehrsträgers haben negative Auswirkungen auf die Marktattraktivität eines anderen. Somit werden sinnvolle Maßnahmen unterlassen, inkonsistente Gegenmaßnahmen beschlossen und eine auf das Ziel ausgerichtete Lenkung der (Gesamt-)Verkehrssystementwicklung ist gehemmt.

Vor diesem Hintergrund entwickelt der vorliegende, konzeptuelle Artikel eine theoretisch fundierte Basis, die zur Ableitung von angemessenen Politikprinzipien dienen soll, die das beschriebene Dilemma auflösen können.

Für das Ziel des Artikels wurden bestehende Ansätze weiterentwickelt. Es sind Theorien zur Erklärung von Detailprozessen in die Multi-Level Perspektive eingefügt und diese um die Besonderheit im Verkehrswesen, die Koexistenz von Verkehrssystemen, erweitert worden. Somit konnte ein theoriegeleitetes Konzept zur Erklärung der Verkehrssystemevolution dargestellt werden.

Auf Basis von Erkenntnissen aus der Evolutionsökonomie, Industrieökonomie und Innovationstheorie werden vier Phasen der Entwicklung eines Verkehrssystems mit der jeweiligen Innovationsleistungsfähigkeit und idealtypischen Verhaltensmustern von Akteuren bzw. der idealtypischen Entwicklung von Systemstrukturen gezeigt. Die Evolution des Gesamtverkehrssystems ist mit dem systematischen Phasenversatz bei der Evolution einzelner Verkehrssysteme dargestellt. Dieser Phasenversatz erzeugt die Bedingungen für die Entwicklung koexistierender Verkehrssysteme.

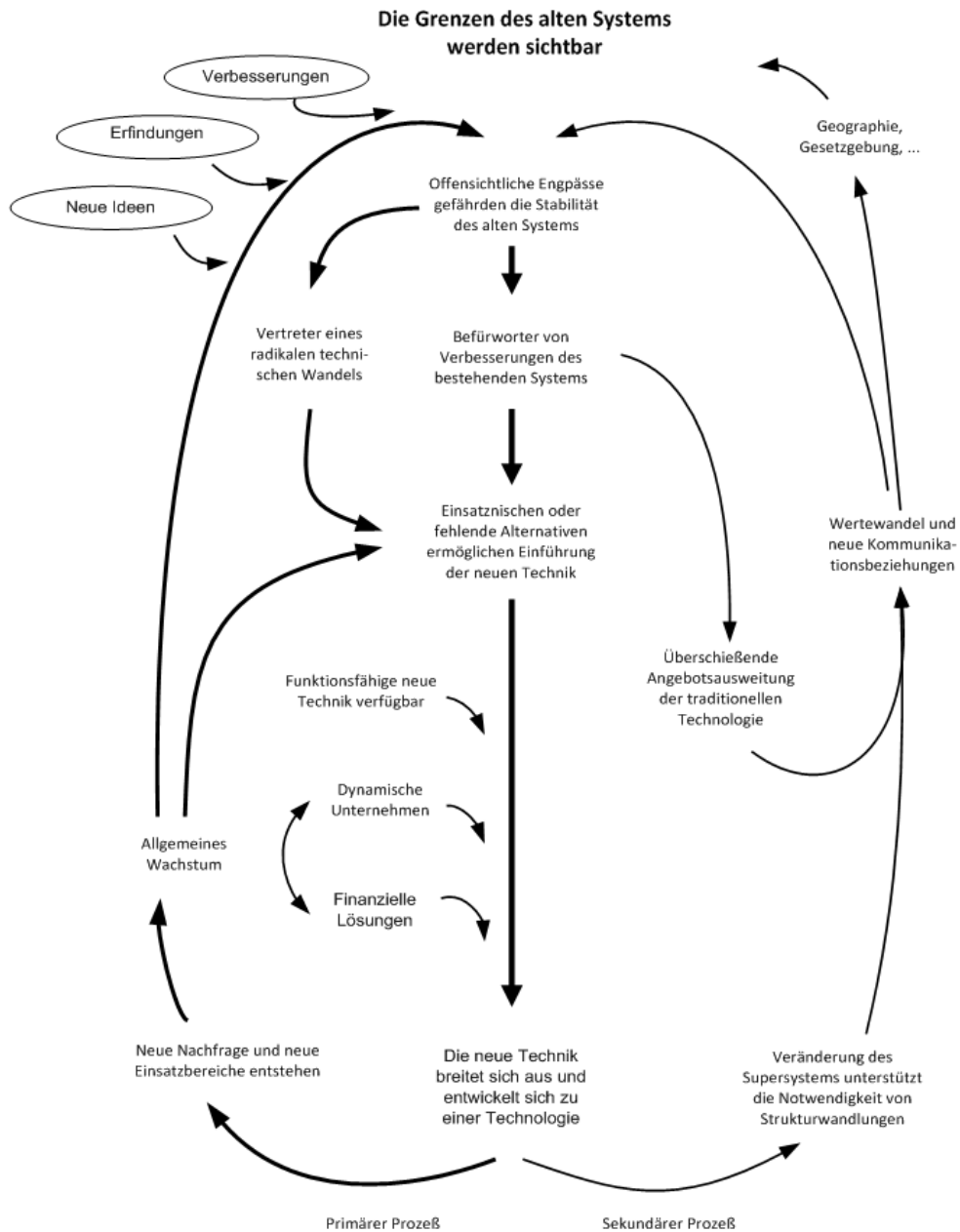
Literatur

- Ayres R.U. (1990a): Technological Transformation and long waves. Part I. Technological Forecasting and social Change. Volume 37. pp. 1-37.
- Ayres R.U. (1990b): Technological Transformation and long waves. Part II. Technological Forecasting and social Change. Volume 36. pp. 111-137.
- Christensen, C. M. (1997a): Patterns in the Evolution of Product Competition. In: European Management Journal Vol. 15, No. 2, pp. 117-127, 1997.

- Christensen, C. M. (1997b): *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1997.
- Christensen, C. M. und Rosenbloom R.S. (1995): Explaining the attacker's advantage: technological paradigms, organizational dynamics, and the value network. In: *Research Policy*, Vol. 24. pp. 233-257. 1995.
- Cowan R. und Hultén S. (1996): Escaping Lock-in: the Case of the Electric Vehicle. In: *Technological Forecasting and Social Change*. Volume 53, Issue 1, September 1996, pp. 61-79.
- Foster R. N. (1985): Timing Technological Transitions In: *Technology in Society*, Vol 7, pp. 127-141.
- Freeman C. und Louca F. (2001): *As time goes by: From the Industrial Revolution to the Information Revolution*. Oxford University Press. ISBN 0-19-9241107-4. New York.
- Geels F. W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. In: *Research Policy*. Vol. 31. pp 1257–1274.
- Geels F. W. (2010): Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. In: *Research Policy*. Vol 39. pp 495–510.
- Geels F. W. und Schot J. (2007): Typology of sociotechnical transition pathways. In: *Research Policy* Vol. 36. pp 399–417.
- Goldstein J. S. (1983): A War-Economy Theory of the long Wave. In: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-349-11570-9_12.
- Heinze G.W. (1985): Zur Evolution von Verkehrssystemen – Perspektiven der Telekommunikation. In: *Perspektiven verkehrswissenschaftlicher Forschung – Festschrift für Fritz Voigt zum 75. Geburtstag*. Herausgegeben von Sigurd Klatt. Duncker & Humblot (1985).
- Heinze G.W. und Kill H.H. (1988): The development of the German railroad system, in: *The development of large technical systems*, Publications of the Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Köln, Vol. 2, Ed. by Renate Mayntz, Thomas P. Hughes, Campus, Westview Press, Frankfurt am Main, Boulder (Colorado), 1988, S. 105-134.
- Heinze G.W. und Kill H.H. (1989): Evolution des Verkehrs – Der Systemansatz und sein Beitrag zur künftigen Verkehrsgestaltung In: *Zukünftige Verkehrstechnologien für den Menschen*. S. 163-175. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Hrsg.). Köln 1989.

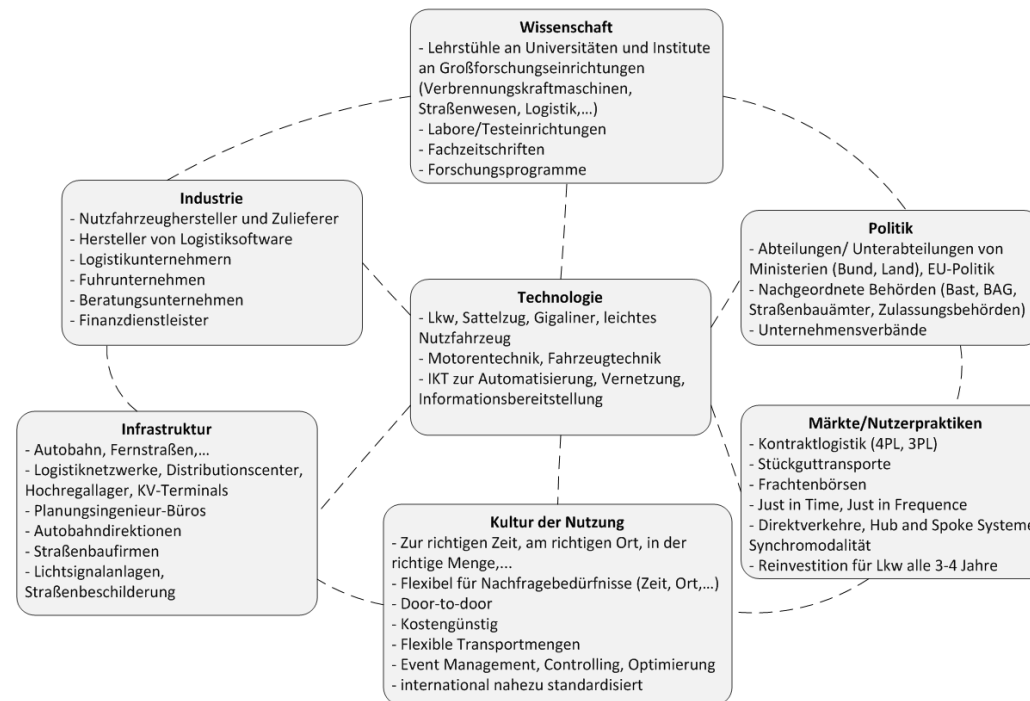
- Kill H.H. (1991): Erfolgsstrategien von Verkehrssystemen Eine evolutionsorientierte Analyse der europäischen Verkehrsentwicklung. Dissertationsschrift. Technische Universität Berlin (1991).
- Maier H. (1985): Basic innovations and the Next Long Wave of Productivity Growth: Socioeconomic Implications and Consequences. In: The Long-Wave Debate (T Vasko (Hrsg). Springer Verlag. ISBN 3-540-18164-4.
- Mensch G. (1975): Das technologische Patt: Innovationen überwinden die Depression. Umschau Verlag Breidenstein KG. ISBN 3-524-00643-4.
- Nefiodow L. A. (1990): Der fünfte Kondratieff. Strategien zum Strukturwandel in Wirtschaft und Gesellschaft. ISBN 3-4091392-7-3. Wiesbaden.
- Pietrantonio L.D. and Pelkmans J. (2004): The Economics of EU Railway Reform. BEEP briefing Nr. 8. College of Europe (Hrsg.).
- Schöller O. (2006): Mobilität im Wettbewerb - Möglichkeiten und Grenzen einer integrierten Verkehrspolitik im Kontext deregulierter Verkehrsmärkte. Hans-Böckler-Stiftung (Hrsg.) Edition 162. ISBN 3-86593-039-5.
- Schumpeter J. A. (1939): Business Cycles. A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process. (Vol. I und II). McGraw-Hill Book Company, Inc. New York and London 1939.
- Smith A., Stirling A. und Berkhout F. (2005): The governance of sustainable socio-technical transitions. In: Research Policy. Vol 34. pp 1491–1510.
- Sydow J., Schreyögg G. und Koch J. (2009): Organizational path dependence: Opening the black box. In: Academy of Management Review. Vol. 34. No. 4. pp. 689–709.
- Theys J. (2005): Quelles technologies clefs pour l'Europe ?: les enjeux liés aux transports. Report. DG Recherche Commission européenne (Hrsg.).
- Unruh 2000: Understanding carbon lock-in. In: Energy Policy. Vol. 28 pp. 817-830.
- Vasko T. (1985): The Long wave debate. Selected papers from an International Institute for applied Aystems Analysis (IISA), Weimar, GDR (1985), Springer Verlag ISBN 978-3-662-10353-1.
- Vester F. (1999): Crashtest Mobilität. Dtv (Hrs.) ISBN: 978-3423330503.
- Whitmarsh L. (2012): How useful is the Multi-Level Perspective for transport and sustainability research? In: Journal of Transport Geography. Vol. 24. pp. 483–487.

Anhang A: Grundmuster der Verkehrssystemevolution (nach Heinze und Kill 1989)

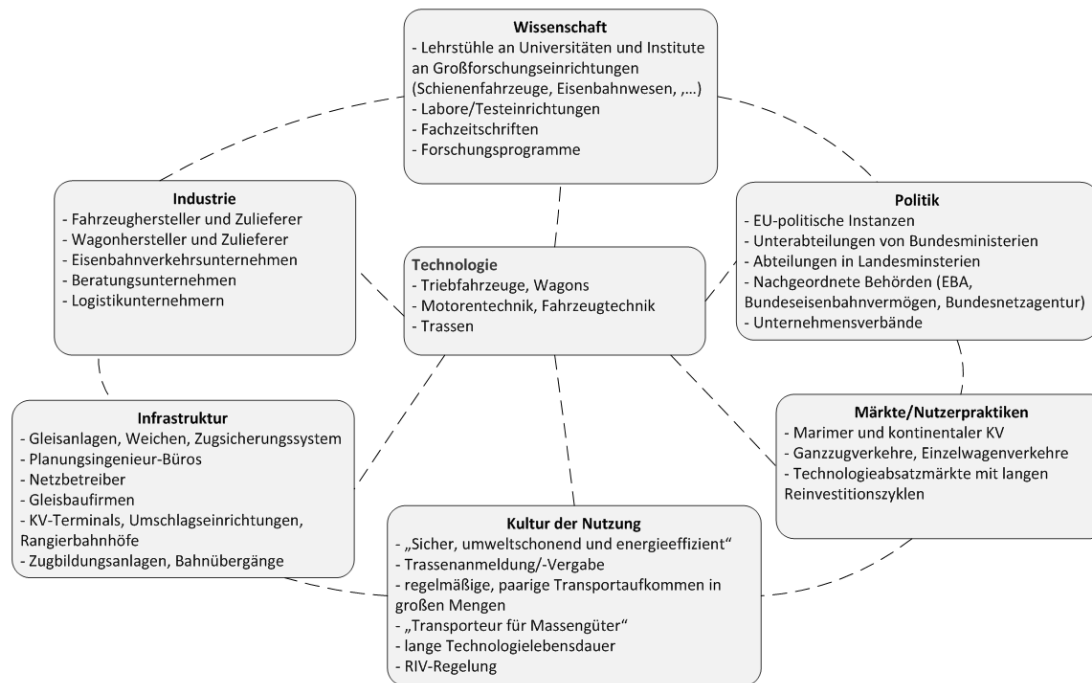


Anhang B: Darstellung der Regime „Lkw-basierten Logistik“ und „Schienengüterverkehr“

1. Elemente des Regimes der Lkw-basierten Logistik



2. Elemente des Regimes Schienengüterverkehr



**Kommentar zu dem Beitrag:
Konzept der Verkehrssystemevolution:
Eine erweiterte Multi-Level Perspektive (von Stephan Müller
und Gernot Liedtke)***

VON CLAUD DOLL

Die Verkehrspolitik der letzten Jahrzehnte ist in den meisten europäischen Ländern durch den Widerspruch der Liberalisierung des Straßengüterverkehrs einerseits und dem Beklagen des auch damit verbundenen Verlustes an Marktanteilen der Eisenbahn gekennzeichnet. Die Unterstützung des Sektors Schiene durch Subventionen in die Infrastruktur, die Einführung der Lkw-Maut 2005 oder durch Erzwingen eines Intramodalen Wettbewerbs auf Druck der EU haben sich bislang in Deutschland nicht in einer Umkehr des sinkenden Marktanteils im Schienengüterverkehr bemerkbar gemacht. In Anbetracht der zumindest temporär verfehlten Klimaziele im Verkehr wäre die seit Jahrzehnten beschworene Rückverlagerung des Lkw-Aufkommens auf Schiene und Wasserstraße dringend notwendig. Eher im Gegenteil drohen jedoch die rasante Entwicklung in der Fahrzeugautomatisierung, Lang- und Oberleitungs-Lkw sowie neue Antriebe und Kraftstoffe den Straßengüterverkehr noch wettbewerbsfähiger, aber vielleicht auch nachhaltiger zu machen.

Die Arbeit von Müller und Liedtke (2017) „Konzept der Verkehrssystemevolution: Eine erweiterte Multi-Level Perspektive“ befasst sich vor diesem Hintergrund mit der fundamentalen Frage, warum Innovationen im Schienenverkehr so viel schwieriger und langwieriger sind als in anderen Verkehrs- und Wirtschaftsbereichen. Ferner wird mit Ansätzen der Innovationsforschung und der Multi-Level-Perspektive (MLP) das Für und

* Die Qualitätsprüfung / -sicherung des Beitrags „Konzept der Verkehrssystemevolution: Eine erweiterte Multi-Level Perspektive“ von Stephan Müller und Gernot Liedtke erfolgte gemäß dem auf der Homepage der Zeitschrift für Verkehrswissenschaft dargestellten (Alternativ-)Ansatz zur transparenten Qualitätsprüfung und -diskussion (siehe www.z-f-v.de → „Einreichung von Beiträgen und Begutachtung / Qualitätsprüfung“). Dabei wird von einem fachkundigen Wissenschaftler eine zustimmende Stellungnahme zur Veröffentlichung des Beitrags eingeholt und zusammen mit dem Beitrag veröffentlicht.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Claus Doll
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
E-Mail: claus.doll@isi.fraunhofer.de

Wider monomodaler Fördermaßnahmen gegenüber systemischer Politikansätze erörtert. Die Ausarbeitung verschafft einen guten Überblick über die Evolutionszyklen in der Transportwirtschaft, deren Treiber und dämpfende Faktoren sowie zwischen Verkehr und angrenzenden Wirtschaftsbereichen. Vor dem Hintergrund des vielfach beklagten Mangels an Innovationsfähigkeit des Sektors Schiene erscheinen insbesondere die Prozesse zum Wachstum von Nischen und der Innovationsfähigkeit neuer und alter Regime interessant. Mit einer Erweiterung der MLP schließt der Aufsatz, dass echte Innovationen im Schienenverkehr nur noch in spezifischen Technologie- und Nachfragenischen möglich sind, sich der Sektor hieraus aber durchaus erneuern könne.

Trotz seiner über 200-jährigen Geschichte hat der Eisenbahnsektor in den letzten Jahrzehnten durchaus nennenswerte Innovationen hervorgebracht. Zu nennen ist hier zum einen das Wachstum privater Wettbewerber im Güter- und Personenverkehr. Dies belegt eindrücklich die Theorie des Wachstums aus der Nische. Ohne die dahinterstehenden Initiativen privater Unternehmen wie auch ausländischer Staatsbahnen wären die Marktanteile der Bahn in Deutschland möglicherweise noch weiter gesunken. Zweitens kann die Entwicklung des Hochgeschwindigkeitsverkehrs und dessen Erfolgsgeschichte im europäischen Eisenbahnmarkt benannt werden.

Thematisiert wird zwar der Einfluss der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen auf das Innovationsgeschehen und das Aufkommen neuer Wellen im Sinne externer Schocks nach Schumpeter, das Regime wird aber vernachlässigt. Wie erfolgreiche Eisenbahnländer wie die Schweiz und Österreich zeigen, kann das Regime die Systemgrenzen etablierter Technologien durchaus erweitern. Insofern wäre die Anwendung und Validierung des entwickelten Ansatzes auf unterschiedliche Regionen oder Regime in nachfolgenden Arbeiten reizvoll.

Im Aufsatz wird die besondere Rolle des Verkehrs aufgrund der Koexistenz verschiedener Angebote angesprochen. Aus der Existenz konkurrierender Systeme wird das Dilemma zwischen der Förderung einzelner Angebote und der Stärkung des Systems abgeleitet. Etwas schärfer formuliert könnte man hier auch die Richtungslosigkeit staatlicher Verkehrspolitik oder deren Getrieben sein durch Partikularinteressen konstatieren. Grundsätzlich gilt dieses Dilemma auch für die Koexistenz verschiedener Energieträger, Medienformen oder Kommunikationstechnologien. Die Externalitäten insbesondere in den Bereichen Klima, Umwelt und Sicherheit heben hierunter jedoch die Sektoren Verkehr und Energie besonders hervor.

Insgesamt deutet die hier geführte Diskussion darauf hin, dass eine Ausweitung der Arbeiten in Müller und Liedtke (2017) auf konkrete Sachverhalte in der Zukunft sehr sinnvoll wäre. Diese Sachverhalte können zum einen bestimmte Technologien oder Organisationsformen im Verkehrsbereich sein, andererseits aber auch bestimmte Märkte in deren Funktion als Regime oder Nische umfassen. Erweiterte Untersuchungen könnten, wie in der Arbeit angedeutet, bis hin zur Evolution von Regimen selbst führen.

Verkehrssysteminnovationen und -evolution: Politikprinzipien für eine langfrist- und innovationsorientierte, integrierte Verkehrspolitik

VON STEPHAN MÜLLER UND GERNOT LIEDTKE

1. Einleitung

Als sektorale Strukturpolitik hat die Verkehrspolitik die Aufgabe, den Verkehrssektor so zu gestalten, dass er den verschiedenen Bedürfnissen einer arbeitsteiligen Volkswirtschaft und heterogenen Gesellschaft entspricht. Aktuelle verkehrspolitische Entscheidungen verfolgen vornehmlich Nachhaltigkeitsziele. Neben den bereits etablierten Instrumenten der Verkehrspolitik – nachhaltige Infrastrukturentwicklung sowie Effizienzsteigerung durch Deregulierung und Liberalisierung – gewinnt die direkte Innovationsförderung seit einigen Jahren zunehmend an Bedeutung.

Für ein nachhaltigeres Verkehrssystem stellt die staatliche Innovationsförderung potenziell ein geeignetes Mittel dar, denn Innovationen sind als Quelle des technologischen Fortschritts sowohl ein maßgeblicher Treiber der wirtschaftlichen Entwicklung als auch ein Mittel zum effizienteren Ressourceneinsatz. Für die Straße beispielsweise werden aktuell die Elektromobilität und das automatische Fahren gefördert; weitere Innovationen – wie z.B. der Lang-Lkw – wurden durch veränderte Regularien und Demonstrationsprojekte unterstützt. Für den Verkehrsträger Schiene sind ein neues Zugsicherungssystem (ETCS), Terminals und Umschlaganlagen für den kombinierten Verkehr, neue Zugkonzepte und die Ermöglichung von längeren Güterzügen Beispiele der Innovationsförderung.

Der Förderung von Innovationen für einen Verkehrsträger wohnt jedoch oft eine Schädigung, der Märkte von konkurrierenden Verkehrsträgern inne, da deren Nachfrage zurückgeht. Entsprechend schnell formiert sich oftmals ein Widerstand im politischen Raum. Auch aus diesem Grund wirkt die Verkehrspolitik immer sprunghafter und dem Wettstreit von Interessenvertretungen ausgeliefert. Im politischen Diskurs werden

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. Stephan Müller
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin
E-Mail: stephan.mueller@dlr.de

Prof. Dr. rer. pol. Gernot Liedtke
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin
E-Mail: gernot.liedtke@dlr.de

beispielsweise Maßnahmen für ein integriertes Verkehrssystem oftmals mit dem Argument diskreditiert, sie berücksichtigten nicht genügend die schöpferischen und kreativen Kräfte unternehmerischen Handels hinsichtlich (i) des Hervorbringens von Innovationen, (ii) der Befriedigung heterogener Kundenbedürfnisse sowie (iii) des Hebens von Effizienzvorteilen. Monomodale Maßnahmen der Innovations- und Wirtschaftspolitik werden wiederum dadurch entwertet, indem behauptet wird, dass bei Ihrer Ausgestaltung die Wirkungen auf andere Verkehrssysteme und die Gesellschaft vernachlässigt würden. Keine der beiden Argumentationen ist grundsätzlich falsch. In der Konsequenz der Dilemmata zwischen monomodalen und integrierten Verkehrspolitikmaßnahmen werden potenziell sinnvolle politische Entscheidungen zur nachhaltigen Gestaltung des Verkehrs gehemmt.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche theoretisch fundierten Politikprinzipien eine Grundlage für eine konsistente Verkehrspolitik zur Innovationsförderung herangezogen werden können, die sowohl Zielen der monomodalen Förderung, als auch Zielen für ein integriertes Verkehrssystem gerecht werden. Im vorliegenden Artikel sind, basierend auf der Evolutionsökonomie, Innovationsstudien und industrieökonomischer Theorien, Politikprinzipien für eine solche Verkehrspolitik erarbeitet. Diese Prinzipien sollen dazu dienen, relevante Maßnahmenoptionen zu erfassen und die Maßnahmenauswahl zu unterstützen.

Der Aufsatz fokussiert beispielhaft auf den Güterverkehr und ist wie folgt strukturiert: Aufbauend auf einem Konzept zur Verkehrssystemevolution, dass in Müller und Liedtke (2017) beschrieben ist, werden in Abschnitt 2 der Zusammenhang zwischen der Evolution eines Verkehrssystems und Innovationen sowie tiefere industrielle Grundlagen zusammengefasst. Auf dieser Basis ist in Abschnitt 3 ein Analyseschema mit Prinzipien zur langfrist- und innovationsorientierten Verkehrspolitik abgeleitet. Der Aufsatz schließt in Abschnitt 4 mit der Anwendung des Analyseschemas auf eine aktuelle verkehrspolitische Debatte im Güterverkehr: der Zulassung des Lang-Lkw für den Regelbetrieb.

2. Zusammenfassung eines Konzeptes zur Verkehrssystemevolution

Der Begriff *Evolution* ist primär für die Entwicklung von Lebensformen in der Biologie bekannt. Die biologische Evolution findet durch Variation, Mutation und Selektion statt. Die Analogie zur technologischen Evolution besteht darin, dass in der Technologie und in Märkten ein endloser Prozess des Wandels stattfindet, in dem sich Märkte und Marktteilnehmer verändern und interagieren (Fagerberg 2003). Dieser Wandel wird angetrieben durch Innovationen, die wiederum kontinuierlich Marktselektionsprozessen ausgesetzt sind. Die Rahmenbedingungen selbst ändern sich auch – durch exogene Entwicklungen aber auch aufgrund der Entwicklung von Technologie und Organisationsformen. Evolutorische Ansätze wurden daher in der sog.

Evolutionen² entwickelt, bei denen Innovationen eine Schlüsselrolle zur technologischen und wirtschaftlichen Evolution einnehmen. In Nelsen und Winter (1982) sowie Dosi (1982) ist dies beispielsweise für die generelle wirtschaftliche und technologische Entwicklungen ausgeführt.

Anwendungen evolutionärer Ansätze im Verkehrssektor finden sich in Heinze (1985), Heinze und Kill (1987, 1988) und Geels (2002). Basierend auf den Arbeiten von Heinze und Kill (1988) und Geels (2002) erarbeiteten Müller und Liedtke (2017) ein Konzept zur Verkehrssystemevolution. Es sind dabei Theorien (industriökonomische Theorien, evolutionsökonomische Theorien und Innovationstheorien) für die Erklärung von insgesamt vier stattfindenden Evolutionsphasen eines Verkehrssystems zusammengestellt worden. Weiterhin wurde die Besonderheit des Verkehrssektors in das Konzept integriert, die sich insbesondere darin manifestiert, dass Verkehrsträger weiterhin mit hohem Marktanteil im Markt verbleiben, wenn ein neuer Verkehrsträger Technologie eingeführt worden ist.

Im Folgenden wird die Evolution des Verkehrssystems nach Müller und Liedtke (2017) zusammenfassend dargestellt. Zunächst wird auf die Evolution eines Verkehrssystems eingegangen (Kapitel 2.1.) und anschließend auf das gesamte Verkehrssystem mit seinen verschiedenen Verkehrsmodi (Kapitel 2.2). Weiterführende Details zu dieser Zusammenfassung können in Müller und Liedtke (2017) nachgeschlagen werden.

2.1. PHASEN DER EVOLUTION EINES VERKEHRSSYSTEMS

Evolutionsphase 1 (Stabilisierung einer radikal neuen Technologie): In dieser ersten Phase versuchen Erfinder und Unternehmer, radikale Inventionen (Erfindungen ohne eine unmittelbare kommerzielle Anwendung) zur Lösung von Herausforderungen einzusetzen, die mit einer bestehenden Technologielinie nicht erreichbar sind. Der erfolgreiche Einsatz im Verkehrsmarkt bezeichnet den Übergang von der Invention zur Innovation. Typischerweise werden unterschiedliche radikale Innovationen zur Lösung bestehenden Herausforderungen entwickelt, so dass zwangsläufig Selektionsprozesse im Verkehrsmarkt stattfinden. In dieser Phase wird mit neuen Technologien seitens der Kunden und der Hersteller experimentiert - Produkte mit geringer Kundenakzeptanz verschwinden aus dem Markt (Selektion). Erfahrungsgemäß schaffen es die meisten Inventionen und Innovationen nicht, sich dauerhaft in einem Verkehrsmarkt zu etablieren. Wenn sich herausstellt, dass mittels einer technisch-organisatorischen Konstitution (Geschäftsmodell, Funktionalität, erste Wertschöpfungskette) eine ausreichend große Nachfrage befriedigt werden kann,

² Im Gegensatz zur Neoklassik fokussierte die Evolutionsökonomik nicht auf Gleichgewichten zu bestimmten Zeitpunkten, sondern auf der Entwicklung ökonomischer Systeme über einen längeren Zeitraum. Sie basiert primär auf Schumpeters Arbeiten und umfasst heute mehrere nicht disjunkt voneinander abgetrennte Literaturfelder wie die Theorie der Langen Wellen nach Schumpeter, eine quantitative Richtung z.B. Nelson-Winter Modell) oder eine institutionenökonomische Richtung. Im Kern haben die Schulen gemeinsam, dass i) Innovationen Treiber kapitalistischer Markt-Dynamiken sind, ii) dezentral abgestimmte Routinen eine Handlungstendenz bestimmen und iii) das Wissen der Akteure Handlungsoptionen generieren und bewerten (siehe Fagerberg 2003).

entsteht der Lock-In Effekt für diese Technologie (Pierson 2000, Sydow et al. 2009). Mit dem **Lock-In** werden andere Lösungsformen zur „gefundenen“ technisch-organisatorischen Konstitution nicht mehr weiterverfolgt. Es entsteht eine Pfadabhängigkeit, was bedeutet, dass auf der gefundenen Lösung aufbauend weitere Verbesserungen stattfinden. Im weiteren Zeitverlauf wird diese normalerweise durch die produzierenden Unternehmen nicht mehr überwunden, das heißt, die Technologie wird in ihren Grundzügen nicht mehr verändert, aber durch zahlreiche inkrementelle Innovationen noch deutlich verbessert.

Evolutionsphase 2 (Technologiewandel): In dieser Phase bedient die neue Verkehrssystemlösung (die weiterentwickelte, erfolgreiche technisch-organisatorische Konstitution) eine immer größer werdende Nachfrage, die von der Massenmarktlösung nicht bedient worden ist (Nischennachfrage). Die Unsicherheit in dieser Phase ist, ob die Nachfrage nach der neuen Technologie weiter wachsen oder ob es schnell zur Sättigung kommt und es bei einer Nischenanwendung bleiben wird. Ein Technologiewandel tritt ein, wenn eine etablierte und dominante Technologie von einer radikal neuen abgelöst wird (ein Beispiel hierfür ist der Übergang von der Eisenbahn zum Automobil). Ein Technologiewandel wird typischerweise durch zwei mögliche Umstände begünstigt:

- (1) ein Systemschock unterbricht den dominanten Technologiepfad. Beispiele für einen solchen Schock sind Katastrophen (z.B. Fukushima und Atomkraft), geopolitische Veränderungen (Embargos) oder Marktshocks (Ölkrise). Als Reaktion eines Schocks muss ad-hoc eine neue Lösung gefunden werden. Dabei besteht die Gefahr, dass eine politisch favorisierte Lösung installiert wird, welche sich anschließend als nicht marktkonform herausstellt.
- (2) die Technologie in einem Nischenmarkt wird mit steigender Kundenzahl immer besser, so dass sie zunehmend eine größere Attraktivität ausübt (sinkende Durchschnittskosten, zunehmende technologische Features, positive Netzwerkeffekte). In der Folge zieht sie immer mehr Nachfrage an sich.

Im Fall der wachsenden und vom Massenmarkt unbefriedigten Nachfrage (2) liegt der sogenannte Effekt des Attacker's Advantage vor. Der **Attacker's Advantage** (Christensen und Rosenbloom 1995) ist der prägende theoretische Effekt in der zweiten Phase der Verkehrssystemevolution. Der Effekt zeichnet sich dadurch aus, dass a) unbefriedigte Nachfragebedürfnisse von Akteuren im Massenmarkt ignoriert werden, b) dass der Technologieentwicklungspfad des Regimes (zum Begriff Regime siehe nächste Phase) diese Nachfragebedürfnisse nicht bedienen kann (dazu müsste der Lock-In und die Pfadabhängigkeit überwunden werden) und c), dass die Geschwindigkeit der Verbesserungen der neuen Technologie unterschätzt und die Verbesserungsmöglichkeiten der Alten überschätzt werden. Unter diesen Voraussetzungen findet der Technologiewandel durch die Ausnutzung der Technologieentwicklungspotenziale beschleunigt statt.

Evolutionsphase 3 (Wachstum): In dieser Phase ist der Technologiewandel vollzogen. Die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung richtet sich in einem langsamen Umstrukturierungsprozess auf die neue Technologie aus. Mit der kreativen Erschließung immer neuer Einsatzfelder für die Technologie, schafft sich die Technologie ihre eigene

und völlig neue Nachfrage³. Es bildet sich ein sogenanntes Regime um die Technologie, welches aus Wertschöpfungsketten, Infrastruktur, politischen Netzwerken, Wissenschaft, Märkten und Nutzerpraktiken sowie einer Kultur der Nutzung besteht und hochgradig aufeinander abgestimmt ist (Beispiele für Regime im Verkehr sind in Müller und Liedtke (2017) visualisiert). Damit ist die Technologie eine Massentechnologie in einem Massenmarkt geworden. Der Wettbewerbsprozess wird von den marktbeherrschenden Unternehmen innerhalb des Massenmarktes mittels inkrementeller Innovationen betrieben, die einen Regime-konformen Technologiepfad entwickeln. Typischerweise wird dabei das Wettbewerbsmuster im zeitlichen Ablauf zur 1) Funktionalität, 2) Zuverlässigkeit, 3) Bedienungsfreundlichkeit und 4) zum Preis der Technologie verfolgt (Christensen 1997a). Alternative technologische Pfade, z.B. mit radikalen Innovationen, werden aktiv von diesem Wettbewerb ausgeschlossen; hierzu kommt es häufig auch zu expliziten Absprachen und stillschweigenden Vereinbarungen zwischen Unternehmen und zwischen Unternehmen und Aufsichtsorganen. Weil der Innovationswettbewerb regimekonform an den technisch-organisatorischen Möglichkeiten zur Entwicklung des bestehenden Massenmarktes und nicht an neuer Nischen-Nachfrage ausgerichtet ist, entsteht zum Ende dieser Phase eine immer größere Disharmonie zwischen der Nachfrage- und der Angebotsentwicklung. Es besteht das sogenannte Innovator's Dilemma (Christensen 1997b), welches große und etablierte Unternehmen am Markt scheitern lässt. Das **Innovator's Dilemma** ist der prägende theoretische Effekt in der dritten Phase der Verkehrssystemevolution.

Evolutionsphase 4 (Degeneration): Zu Beginn der vierten Phase kann das Verkehrssystem noch die in der vorangegangenen Phase entwickelte Nachfragestruktur bedienen. Der Verkehrsmarkt ist aber gesättigt. Da in der vorangegangenen Stufe die Technologie weitgehend ausgereift wurde, sind kaum noch Kostensenkungen bzw. Verbesserungen möglich; der Wettbewerb findet nur noch über den Preis statt. Sofern sich die Unternehmen nicht absprechen und den Wettbewerb außer Kraft setzen, sind kaum noch Gewinnmargen am Markt realisierbar, welche in Innovationen reinvestiert werden könnten. Ohne Innovationen verliert ein Markt jedoch an Entwicklungsdynamik. Zu Beginn der Phase 4 ist die Technologie noch eine Massentechnologie, da in der Wachstumsphase des Verkehrssystems (Phase 3) ein nationales und oft internationales Regime aus Technologie, Wertschöpfungsketten, Infrastruktur, politischen Netzwerken, Wissenschaft, Märkte und Nutzerpraktiken sowie einer Kultur der Nutzung aufgebaut wurde, das zunächst weiter besteht. Wenn aber ein Markt auf Grund von fehlenden Innovationsleistungen nicht mehr wächst und fehlende Innovationsleistungen auf Grund mangelnder Gewinnmargen im Markt nicht mehr erfolgen können, besteht für dieses Regime ein sogenanntes technologisches Patt (Mensch 1975). Das **technologisches Patt** ist der prägende theoretische Effekt in der vierten und letzten Phase der Verkehrssystemevolution. Es ist durch fehlendes Marktwachstum und fehlende Gewinne charakterisiert. Unter diesen Konditionen wird

³ Laut Heinze (1985) war die Ausrichtung kaum im Vorfeld sichtbar, denn die eigentlichen Fähigkeiten und Potenziale des Verkehrssystems zeigte sich erst durch Lerneffekten bei dessen Nutzung.

durch ausbleibende Innovationen keine weitere positive Marktdynamik freigesetzt, und durch die fehlende positive Marktdynamik bestehen keine Innovationsanreize – das ist die Patt-Situation. Laut Mensch (1975) können nur Basisinnovationen diese Pattsituation auflösen, denn diese besitzen das Potenzial, neue Märkte und neue Nachfragestrukturen zu entwickeln. Es ist aber festzuhalten, dass typischerweise nach wie vor eine Pfadabhängigkeit im Regime besteht. Das bedeutet, dass dessen Lock-In nicht überwunden wird und somit Reformen für das Verkehrssystem bzw. durch das Regime ausgeschlossen werden. Wirkende Marktselektionskräfte würden im Zeitverlauf dazu führen, dass die Technologie entweder obsolet oder in eine Nischenanwendung gedrängt wird.

Jedes neue Verkehrssystem ist zunächst eine Basisinnovation, welche im Innovationswettbewerb der Unternehmen durch weitere inkrementelle Innovationen verbessert wird, wobei am Ende kaum noch Verbesserungen durch Innovationen möglich werden, bis hin zum technologischen Patt, bei dem keine Innovationsleistung mehr erfolgt. Dieser Verlauf der Innovationsleistung am Verkehrssystem kann durch eine S-Kurve beschrieben werden (siehe Abbildung 1).

Nach der Beschreibung der vier Evolutionsphasen eines Verkehrssystems wird im nächsten Kapitel die Gesamtverkehrssystemevolution dargestellt.

2.2. ASPEKTE DER EVOLUTION DES GESAMTVERKEHRSSYSTEMS

Wenn sich ein neues Verkehrssystem durchsetzt, kann es dazu kommen, dass ältere Verkehrssysteme marktbereinigenden Kräften unterliegen. Die Pferdestraßenbahn als städtisches ÖV- und Güterfeinverteilungssystem oder die Schifffahrt sowie Zeppeline im interkontinentalen Personenverkehr sind Beispiele für verschwundene Technologien. Jedoch kann über die Zeit hinweg beobachtet werden, dass immer mehrere Verkehrssysteme koexistierten, wobei sich die Struktur der Koexistenz sich über die Zeit veränderte. Dies soll im Folgenden als Gesamtverkehrssystemevolution bezeichnet werden. Obwohl das Phänomen offensichtlich ist, ist ihm in der Literatur zur Verkehrssystemevolution wenig Aufmerksamkeit gewidmet worden. Auf Heinze (1985) und Schöller (2006) aufbauend sind in Müller und Liedtke (2017) die Koexistenz von Verkehrssystemen im Gesamtverkehrssystem und dessen Folgen charakterisiert. Die Koexistenz besitzt einige positive Begleitwirkungen:

Erhöhte Komplementarität des Gesamtverkehrssystems: Weil jedes Verkehrssystem spezifische Leistungsprofile und Vorteile besitzt, stellen sie keine perfekten Substitute dar. Entsprechend dieses Leistungsprofils schafft sich jedes erfolgreiche Verkehrssystem seine eigene Nachfrage in den zuvor beschriebenen Umstrukturierungsprozessen der Wirtschaft und Gesellschaft (Evolutionsphase 3). In der Folge entsteht ein höherer Nutzen für den Konsumenten (der sog. Heterogenitätsnutzen), eine höhere Nachfrage und zusätzliche Kapazitäten, die in einem Störfall eines Verkehrsträgers nutzbar gemacht werden können.

Ausbalancierte Systemübergänge: Setzt sich ein Verkehrssystem als Basisinnovation und Träger eines Kondratieff-Zyklus⁴ durch, strukturiert es die Wirtschaft und Gesellschaft neu - es schafft neue Einsatzmöglichkeiten und somit neue Nachfragestrukturen, die dem Leistungsprofil entsprechen. Somit sinkt auch die Nachfrage nach dem bisherigen Verkehrsangebot. Dieser langandauernde Prozess kann durch die Koexistenz von Verkehrssystemen dadurch unterstützt werden, weil im Systemübergang dynamische und heterogene Verkehrsangebotsstrukturen den heterogenen und dynamischen Kundenbedürfnisse gegenüberstehen. Der Systemübergang findet somit ausbalancierter statt.

Rückzug in profitable Nischen: Als Folge der Umstrukturierungsprozesse durch die neue dominante Verkehrstechnologie entstehen durch die Verschiebung der Nachfragestruktur neue Nischen. Bisher konnten in der Innovationsreihenfolge ältere Verkehrssysteme derartige Nischen erfolgreich besetzen - die Rheinschifffahrt und der maritime kombinierte Schienengüterverkehr sind Beispiele hierfür. Ein staatliches Engagement ging dem aber immer voraus. Die Profitabilität der Nischen senken zum einen die Subventionsanforderungen und zum anderen bieten sie Aussichten auf weiteres Wachstum durch mögliche Innovationstätigkeiten.

Als nachteilige Effekte der Koexistenz der Verkehrssysteme können zusammengefasst werden:

Dilemmata zwischen Zielen und Interessen: Jede erfolgreiche Verkehrstechnologie manifestiert sich in den politischen Strukturen. Somit sind politische Akteure und Interessen eines Verkehrsträgers sowohl vor als auch nach einem Technologiewandel aktiv und beeinflussen Entscheidungen durch ihre Interessenvertreter. Mit der Durchsetzung einer neuen Technologie entstehen neue politische Institutionen, z.B. Kontrollinstanzen und politisch verantwortliche Ressorts als Teile des neuen Regimes. Das hat konkurrierende politische Ziele und eine Konkurrenz um öffentliche Ressourcen zur Folge. Bei der Verteilung von öffentlichen Ressourcen auf die Verkehrssysteme (Gelder, Fördermaßnahmen, Regularien, etc.) befinden sich die Vertreter beider Verkehrssysteme und Regimes⁴ in einem Wettbewerb.

Dauerhaft notwendiger und ansteigender Subventionsbedarf: Ein für einen Massenmarkt aufgebautes, durchoptimiertes Verkehrssystem lässt sich bei sinkender Nachfrage in seiner Gänze nicht mehr eigenwirtschaftlich rentabel betreiben. Somit müssten öffentliche Gelder eingesetzt werden, um den Erhalt des Verkehrssystems zu ermöglichen. Weil öffentliches Geld eine knappe Ressource ist, werden oftmals Rationalisierungsmaßnahmen diktiert, mit der Folge, dass der Rückbau der Infrastruktur und die Erosion des Verkehrsangebots zum Verlust des Netzwerkcharakters führen und

⁴ In Müller und Liedtke (2017) sind zwei Regime voneinander abgegrenzt. Ein Verkehrssystem, bestehend aus strukturellen Komponenten zur Ortsveränderung, ist ein Teil des Regimes. Z.B. ist eine Kultur der Nutzung eines Verkehrssystems nicht erforderlich für dessen funktionieren. Als Teil des Regimes prägt aber die Nutzungskultur auch den gesellschaftlichen Umgang mit einem Verkehrssystem (z.B. dem Auto in der Stadt).

somit eine Abwanderung der Verkehrsnachfrage auf die neue Verkehrstechnologie unterstützt wird.

Innovationsblockaden verhindern positive Marktdynamik: Für ein durchoptimiertes Verkehrssystem, das sich einer sinkenden Nachfrage stellen muss und dessen Akteure nach einem Preiswettbewerb (siehe Innovator's Dilemma) nahe den Grenzkosten operieren, sind kaum mehr rentable inkrementelle Innovationen möglich. Dieser Zustand der Innovationsblockade unterbindet wiederum eine positive Marktdynamik durch Innovationen. Das Verkehrssystem befindet sich somit in einem technologischen Patt. In der Literatur werden radikale Innovationen als einzige Möglichkeit genannt, um die Pattsituation zu überwinden (Mensch 1975). Eine Reform des Verkehrsangebotes durch radikale Innovationen vermeidet den ansteigenden Subventionsbedarf (siehe vorangegangener Punkt). Gehen politische Fördermaßnahmen für ein Verkehrssystem darauf nicht ein, sondern unterstützen die Pfadabhängigkeit des Regimes, werden öffentliche Ressourcen ohne Aussicht auf eine Veränderung der Patt-Situation investiert.

Für das Prinzip der Gesamtverkehrssystemevolution ist zusammenzufassen, dass

- sich die Evolution eines jeden Verkehrssystems in vier Phasen vollzieht,
- sich im Gesamtverkehrssystem mehrere, koexistierende Verkehrssysteme befinden, die sich in unterschiedlichen Evolutionsphasen befinden,
- diese Evolutionsphasen somit zueinander versetzt sind und
- dass die verschiedenen Evolutionsphasen interagieren – sie beeinflussen sich und definieren Rahmenbedingungen füreinander.

Aufgrund der im vorangehenden Teil beschriebenen Abhängigkeiten befinden sich auf einem Markt konkurrierende Verkehrssysteme immer in einem gewissen Phasenversatz. In Übereinstimmung mit den Beobachtungen aus den letzten zweihundert Jahren ist dieser Versatz ca. zwei Phasen lang (Überschneidungen treten am Ende der einen und am Anfang einer anderen Phase statt) und weist folgende Abhängigkeiten auf:

- Wachstumsphase des dominanten Verkehrssystems (Phase 3) und Stabilisierung eines anderen (Phase 1): Die Wachstumsphase eines Verkehrssystems hinterlässt bzw. öffnet Marktnischen. Dies ist die Nachfrage, die nicht das Massenmarktprodukt präferiert (z.B. Elektrofahrzeuge in den 70ern). Nischen sind für Massenmarktproduzenten ökonomisch uninteressante Märkte. Es entwickeln sich Ideen für Basisinnovationen, mit denen in den Nischen mit Nachfragereaktionen experimentiert wird. Diese haben lange Zeit keine Durchsetzungschance, denn erst in der nächsten Überschneidung der Phasen entstehen die Rahmenbedingungen hierfür.
- Technologiewandelphase eines Verkehrssystems (Phase 2) und Degenerationsphase eines Anderen (Phase 4): Am Ende der Wachstumsphase ist der Effekt des Innovator's Dilemma am stärksten, denn die Technologie ist anhand des Wettbewerbsmusters durchoptimiert. Der Attacker's Advantage, der zum Ende der Stabilisierung bzw. zum Anfang der Technologiewandelphase für die neue

Technologie entsteht ist darin begründet, dass die Nische nicht oder nur schlecht durch die Massenmarkttechnologie bedient werden kann und dass die neue Technologie erst am Anfang der Entwicklung steht, während die Massenmarkttechnologie durchoptimiert ist (stark gesunkene Grenzerträge für Innovationsleistungen). Findet der Technologiewandel unter Ausnutzung des Attacker's Advantage statt, wird die bisher etablierte Technologie in die Degenerationsphase gedrängt. Der ehemalige Massenmarkt kann nicht mehr wachsen, da sich Innovationsinvestitionen (Wissen und Kapital) auf die neue Technologie konzentrieren.

- Degenerationsphase eines Verkehrssystems (Phase 4) und Stabilisierung einer anderen (Phase 1). In der Degenerationsphase befindet sich eine Technologie im technologischen Patt. In dieser Situation würde die Technologie entweder marktberreinigenden Kräften unterliegen oder durch staatliche Maßnahmen vor diesen geschützt werden. Bei letzterem würde die Patt-Situation weiter bestehen bleiben. Der Ausweg aus dem technologischen Patt gelingt nach allgemeiner Auffassung nur durch eine radikale Innovation. Diese kann in Nischen gefunden werden, wobei häufig Ansätze zur Verbesserung eines sich im Patt befindlichen Verkehrssystems gegeben sind - aus dessen Wachstumsphase und aktuellere Inventionen.

Das Konzept der Verkehrssystemevolution ist in der Abbildung 1 dargestellt. Die Gesamtverkehrssystemevolution ist auf der Ordinate abgetragen, wobei jedes durchgesetzte neue Verkehrssystem die Produktivität steigert. Auf der Angebotsseite kann das Produkt z.B. billiger und qualitativ hochwertiger im Laufe der Zeit hergestellt werden inkl. eines häufig zu beobachtenden Technologietransfers (z.B. der Dieselantrieb bei Zügen). Auf Nachfrageseite ist die Produktivitätssteigerung, dass Ortüberwindungen schneller oder billiger erfolgen können. Jedes Verkehrssystem weist einen S-Kurvenverlauf der Innovationsleistung in den vier Evolutionsphasen auf. Auf der Abszisse sind drei historisch erfolgte Technologieübergänge im idealisierten Zeitverlauf angedeutet. Die Phasen jedes Verkehrssystems sowie die Phasenüberschneidungen sind unter der Abszisse angetragen. In der Abbildung 1 ist nicht nur die historische Entwicklung des Gesamtverkehrssystems dargestellt. Anhand der Abbildung lässt sich auch der Zustand des heutigen Güterverkehrssystems beschreiben (Querschnitt am rechten Rand der Grafik): a) Innovationsstaus bei Binnenschiff und Schiene, die sich im technologischem Patt befinden, b) deutlicher werdende Grenzen des weiteren Wachstums der bisher dominanten Automobilität (z.B. Infrastrukturkapazität, Antriebsform, Gesundheit) und c) zahlreiche alternative Lösungsansätze durch neue Marktteilnehmer, welche unter anderem das Autoregime herausfordern. Weitere Erläuterungen hierzu befinden sich im Kapitel 4.

Im nächsten Kapitel werden die Prinzipien einer Verkehrs-Innovations-Politik beschrieben, welche die dargestellten theoretischen Grundlagen für die verkehrs- und innovationspolitische Praxis nutzbar machen sollen.

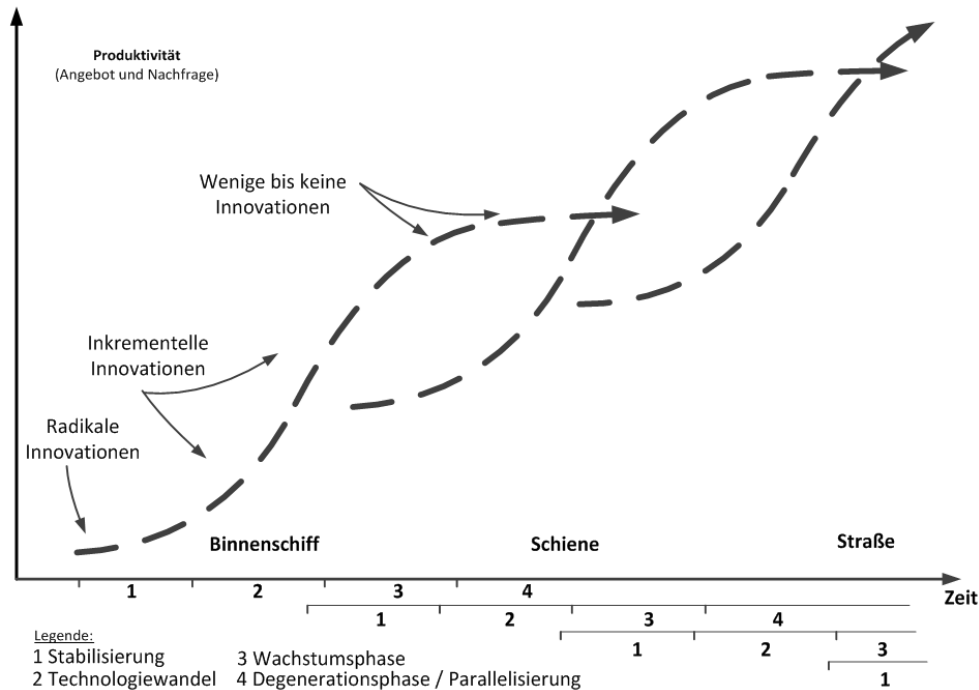


Abbildung 1: Idealisierte Evolutionsphasen und systematischer Phasenversatz bei Verkehrssystemen (in Anlehnung an Heinze und Kill (1988))

3. Ein Analyseschema und Vorschläge für langfrist- und innovationsorientierte Politikprinzipien im Verkehrssektor

Wenn man die zuvor beschriebenen Phasen zur Evolution eines Verkehrssystems und den Phasenversatz sowie die Phasenabhängigkeiten bei parallelen Verkehrssysteme akzeptiert, kann das im vorhergehenden Kapitel erarbeitete Konzept der Verkehrssystemevolution als Basis zur Postulierung von Politikprinzipien für klassische verkehrspolitische Aufgaben genutzt werden. Dabei gehen wir im Folgenden davon aus, dass die Aufgaben und das Zielsystem der Verkehrspolitik die aktuelle Situation widerspiegeln. Als klassische verkehrspolitische Aufgaben werden in der Standardliteratur (i) die Optimierung des Verkehrssektors, (ii) die Optimierung angrenzender Sektoren und (iii) das Auflösen von Zielkonflikten genannt (vgl. z.B. Grandjot und Bernecker 2014). Die genauen Ziele bei diesen Aufgaben veränderten sich im Laufe der Zeit. Zuletzt wurde – nach einer Konzentration auf die ökologische Nachhaltigkeit beginnend in den 1970er Jahren – seit der Jahrtausendwende der Fokus stärker auf die ökonomische Dimension gerichtet (vgl. Schöller 2006).

Ein stark präferiertes Instrument zur Erreichung eines nachhaltigen Wachstums stellt inzwischen die direkte Innovationsförderung dar. Die Maßnahmenpalette und Maßnahmenpakete in der Innovationspolitik sind vielschichtig und beinhalten fast die komplette Bandbreite ordnungs- und strukturpolitischer Instrumente. Eine mögliche Darstellung und Systematisierung von innovationspolitischen Maßnahmen befindet sich in Tabelle 1, in der nach monetären und organisatorischen Maßnahmen unterschieden wird. Für eine weiterführende Einteilung und Diskussion üblicher innovationspolitischer Maßnahmen siehe z.B. Edler und Georghiou (2007).

| Monetäre Maßnahmen | Organisatorische Maßnahmen |
|--|---|
| Öffentliche Gelder z.B. Öffentliches Venture Capital, Garantien | Regulierung öffentlicher und privater Nachfrage z.B. Standards, Vorgaben, Grenzwerte |
| Fiskalische Maßnahmen z.B. Steuerreduktion bei Innovationseinsatz, Steueranreize bei Beschäftigung im Forschungsbereich | Information und Austausch z.B. Medieneinsatz, Demonstrationsveranstaltung, Trainingskurse für Innovationsmanagement |
| Finanzierung öffentlicher Forschung z.B. Finanzierung von Universitäten, Laboren, Großforschungseinrichtungen und Forschungsprojekten | Systemische Ansätze z.B. Clusternetzwerke, Austauschforen, Science Parks |
| Finanzierung industrieller Forschung z.B. Kollaborationsprojekte, Darlehen für Forschung, Preise für Forschungsergebnisse | |
| Subvention privater Nachfrage z.B. Kaufprämien, Steuererleichterung | |
| Öffentliche Beschaffung z.B. Subvention bei Anschaffungen öffentlicher Betriebe, Forschungsprogramme | |

Tabelle 1: Beispiele von Maßnahmen zur Innovationspolitik (eigene Darstellung nach Edler und Georghiou (2007))

Für die nachstehenden Politikprinzipien zur Innovationsförderung wird davon ausgegangen, dass monetäre und organisatorische Maßnahmen zur Innovationsförderung auf die Phase eines Verkehrssystems sowie den Phasenversatz und der Phaseninteraktion abgestimmt sein

müssen. Der entscheidende und neuartige Aspekt für die nachstehenden Politikprinzipien ist somit, dass diese sich nicht nur an einem Zustand zu einem bestimmten Zeitpunkt sondern an einer zeitlichen Reihenfolge, sondern systematischen Abhängigkeiten ausrichten. Damit die Maßnahmenwahl hierfür zielgerichtet geschehen kann, das heißt, dass sie eine große Wirkung auf das Wirkungsziel und wenige Nebenwirkungen entfaltet, kann nach förderlichen und hinderlichen Maßnahmen unterschieden werden. Gemäß dieser Einteilung sind förderliche Maßnahmen zu bejahen, möchte man in der jeweiligen Phase eine nachhaltige Entwicklung des Gesamtverkehrssystems unterstützen. Hinderliche Maßnahmen sind in der jeweiligen Phase eher zu unterlassen, denn sie besitzen negative Nebenwirkungen auf die Gesamtentwicklung.

Die einer langfristig nachhaltigen Entwicklung förderlichen und hinderlichen Maßnahmen sind in einem Analyseschema dargestellt, welches die genannten vier Verkehrssystemevolutionsphasen (Stabilisierung, Technologiewandel, Wachstum und Degeneration/ Parallelisierung) in vier Quadranten einordnet. Die Ordinate unterscheidet dabei zwischen Nischen- und Massenmarkt und die Abszisse zwischen den Extrema Nischen- und Massentechnologie. Das Analyseschema und die Kernaussagen zu den Politikprinzipien sind in der Abbildung 2 den Quadranten zugeordnet, wobei förderliche Politikoptionen mit einem Häkchen und hinderliche mit einem „X“ markiert sind. Das Analyseschema und die förderlichen sowie hinderlichen Maßnahmen sind in Abbildung 2 dargestellt.

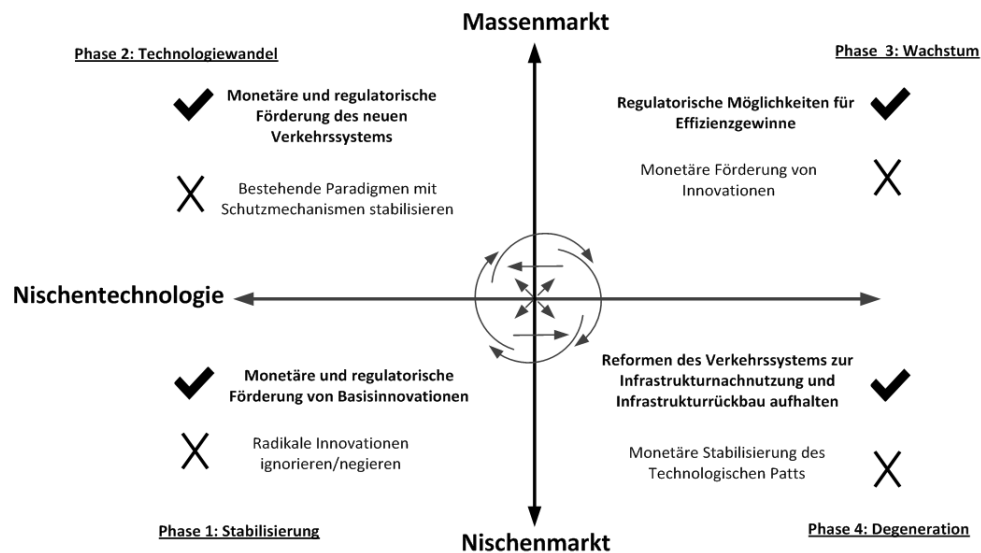


Abbildung 2: Politikprinzipien entsprechend der Verkehrssystemevolutionsphasen

Quadrant 1 (Stabilisierungsphase einer Nischentechnologie in einem Nischenmarkt):

Der Lock-In Effekt ist der prägende theoretische Effekt in der ersten Phase der Verkehrssystemevolution. Mit dem Lock-In bedient eine bestimmte Nischentechnologie einen Nischenmarkt: eine Basisfunktionalität wurde für eine Nischennachfrage gefunden. Der Lock-In wird in der weiteren Technologieevolution typischerweise nicht mehr überwunden.

- Hinderliche Maßnahmen: Es wäre zu vermeiden, dass radikale Lösungsideen von politischen Entscheidungsträgern, als Teil des etablierten Regimes, per se abgelehnt oder ignoriert werden. So können sich diese Lösungsformen nicht entwickeln und auch keine positiven Impulse für gesättigte oder degenerierende Märkte ausüben. In der Folge würden langfristig wirksame und nötige Reformen von Verkehrssystemen, die sich im technologischen Patt befinden, verhindert. Weiterhin ist ein zu früher Lock-In für eine neue Technologie durch politische Aktionen, z.B. durch Normierung oder Favorisierung, zu vermeiden. Neue Technologien müssen ausreichend Marktselektionsprozessen ausgesetzt werden, denn sonst entstehen keine marktgerechten Lösungen.
- Förderliche Maßnahmen: In dieser Phase muss die Entwicklung radikaler Innovationen vor den etablierten Regimes politisch geschützt und unterstützt werden. Dazu sind monetäre und organisatorische Maßnahmen förderlich. Monetäre Maßnahmen wären insbesondere der Entwicklung vieler radikaler Innovationen und Konzepte zu widmen, um diese zur Anwendungsreife in Marktnischen zu entwickeln und dort der Marktselektion auszusetzen. Förderliche organisatorische Maßnahmen dienen dem Schutz der Innovationen, die anderenfalls typischerweise vom bestehenden Regime unterdrückt würden. Der Schutz ist durch eine politische Vision eines zukünftigen Zustandes zu erreichen, der einerseits dem Regime einen Orientierungsrahmen setzt (im Idealfall würde das Regime radikale Innovationen in den Entwicklungspfad aufzunehmen) und viele radikale Lösungsansätze hervorbringt, die das Erreichen der Vision unterstützen. Weiterführende Literatur sind z.B. Lorbach (2007) und Mazzocato (2013).

Quadrant 2 (mit dem Technologiewandel entwickelt eine Nischentechnologie einen neuen Massenmarkt):

Das Attacker's Advantage ist der prägende theoretische Effekt dieser Phase. Er beschreibt, dass eine vom etablierten Massenmarkt unbefriedigte und unterschätzte Nachfrage dazu führt, dass diese von der neuen Technologie (aus dem ersten Quadranten) bedient wird und dass die Technologie durch Leistungssteigerungen bis hin zu Massenmarktanwendungen entwickelt werden kann. Somit entwickelt sich in dieser Phase eine Nischentechnologie zu einer neuen Massenmarkttechnologie.

- Hinderliche Maßnahmen: Ein Technologiewandel ist in einer Marktwirtschaft nicht aufzuhalten – eine Nachfrage sucht sich ihre passende Angebote. Es wäre daher politisch zu vermeiden, dass zugunsten eines dominanten Regimes diverse Schutzmechanismen (z.B. Regularien, Standards, Konzessionen, Lizenzen, beschränkende Forschungsprogramme, Maßnahmen als Ausweichmanöver/Ablenkung) installiert werden. Diese verzögern die Durchsetzung neuer

Verkehrstechnologien und führen dazu, dass der Leitmarkt (Beise 2004) für die neue Technologie in anderen Volkswirtschaften entsteht.

- **Förderliche Maßnahmen:** In dieser Phase gilt es, die inkrementelle Verbesserung der Innovation zu unterstützen. Alle Maßnahmen sollten eine beschleunigte Verbesserung der neuen Technologie zum Ziel haben, damit diese ihre Leistungsfähigkeit entwickeln kann. Dies ist mit organisatorischen und monetären Maßnahmen möglich. Zu diesem Zeitpunkt kann hierzu größtenteils privates Kapital eingesetzt werden. Nur beim Aufbau von Infrastrukturen, insbesondere eines langlebigen Infrastrukturnetzes und dies auch noch unter Berücksichtigung von gesellschaftlichen Bedürfnissen, ist staatliches Eingreifen zu empfehlen (z.B. in Form von Finanzierung, direkten Subventionen, Konzessionierung, Regulierung, integrierter Planung, Auflagen, sowie Mischungen daraus). Weitere wichtige förderliche organisatorische Maßnahmen sind das Auflösen obsoleter Regularien und die Entwicklung neuer Regularien zu gegebener Zeit (wie die StVO mit der Durchsetzung des Automobils). Eine indirekte monetäre Förderung der Innovation kann durch finanzielle Anreize für die weiterführende Forschungs- und Entwicklung und Ausbildung erreicht werden, um Vorteile im internationalen Wettbewerb um die Marktführerschaft zu generieren (z.B. müssen typischerweise Lehrstühle und Lehrpläne an Universitäten geschaffen bzw. umgewidmet werden, um eine industriennahe Forschung zu realisieren und mit der neuen Technologie vertrautes Personal bzw. UnternehmerInnen auszubilden). Weiterführende Literatur ist z.B. Perez (2003).

Quadrant 3 (Wachstumsphase einer Massentechnologie in einem Massenmarkt): Mit der Durchsetzung der neuen Technologie richtet sich die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung durch langsame Umstrukturierungsprozesse auf diese aus und das Verkehrssystem schafft sich seine eigene Nachfrage. Damit ist die Technologie eine Massentechnologie in einem Massenmarkt geworden. Das Innovator's Dilemma ist der prägende theoretische Effekt dieser Phase. Es wird dabei ein Regime-konformer Technologiepfad entwickelt, der typischerweise ein zeitliches Wettbewerbsmuster zur Funktionalität, Zuverlässigkeit, Bedienungsfreundlichkeit und zum Preis der Technologie darstellt. Alternative technologische Pfade, z.B. mit radikalen Innovationen, werden aktiv von diesem Wettbewerb ausgeschlossen. Der Effekt dieses Verhaltens ist, dass eine immer größere Disharmonie zwischen der Nachfrage- und der Angebotsentwicklung entsteht.

- **Hinderliche Maßnahmen:** Monetäre Maßnahmen für das dominante Regime sind mittel- und langfristige nicht förderlich. In dieser Phase ist der Marktmechanismus hinreichend fähig zur Selektion von rentablen und unrentablen Innovationen, welche durch das Regime selbst getätigt werden können, denn die am Markt erzielbaren Preise und das Marktwachstum dieser Phase lassen Gewinne zur Reinvestition zu. Werden öffentliche Gelder zur Innovation im Regime eingesetzt, fördert man a) das Innovator's Dilemma (Entkopplung von Nachfrage und Angebot) und/oder b) wenn die politisch intendierte Innovationsrichtung nicht mit dem Regimepfad harmoniert, wird eine Fehlinvestition öffentlicher Gelder erreicht, denn das Regime passt seinen

Innovationspfad nicht an. Vielmehr werden öffentliche Ressourcen zur Schwächung von Marktmechanismen eingesetzt, wobei keine Lösungen für aktuelle Herausforderungen entwickelt werden. Neue Ideen aus der Phase 1 werden unterdrückt – mit langfristig negativen Effekten für die Volkswirtschaft, da zukünftige Märkte entweder gar nicht oder zu spät entwickelt werden.

- **Förderliche Maßnahmen:** Effizienzsteigernde, organisatorische Maßnahmen sind der Kern der Politikprinzipien in dieser Phase. Die in der Historie gesetzten Rahmenbedingungen sind für mögliche Effizienzgewinne der dominanten Technologie anpassbar. Somit kann das entsprechende Regime seinen Technologiepfad nach erwarteter Marktnachfrageentwicklung gestalten und rentable Innovationsinvestitionen tätigen. Partikularinteressen koexistierender Regime sollten keinen Einfluss auf die Gestaltung organisatorischer Maßnahmen haben, denn die dominanten Nachfragebedürfnisse werden vom Regime in der Wachstumsphase bedient – müssen sie zwangsläufig auch, denn diese haben sich im Zeitverlauf auf das Verkehrsangebot des dominanten Regimes ausgerichtet. Würden Partikularinteressen von benachteiligten Regimes in beispielsweise eine Regulation mit einbezogen, wird die dominante Nachfrage, welche im Falle des Güterverkehrs die wirtschaftliche Entwicklung spiegelt, geschwächt - allerdings ohne das die Nachfrage durch ältere Verkehrssysteme in gleicher oder besserer Angebotsqualität bedient werden könnte.

Quadrant 4 (Degenerationphase/ Parallelisierung einer Massentechnologie in einen Nischenmarkt): Das technologische Patt ist der prägende theoretische Effekt dieser Phase. Nach dem Preiswettbewerb, der sich zum Ende der vorangegangenen Phase einstellt, sind keine Gewinne zur Reinvestition am Markt zu erwirtschaften. Keine Innovationen bedeuten keine Marktdynamik und damit wiederum keine Aussicht auf Gewinne zur Reinvestition. Der Markt degeneriert zur Nische, da sich ein neuer Massenmarkt mittels einer alternativen Technologie, die sich in einer früheren Evolutionsphase befindet, herausbildet. Eine Massentechnologie ist die Technologie jedoch weiterhin, da in der Wachstumsphase des Verkehrssystems ein Regime aus Infrastruktur, Bedienkonzept, Wertschöpfungsketten usw. aufgebaut wurde und typischerweise national und international flächendeckend besteht. Irgendwann muss eine gesellschaftliche Entscheidung getroffen werden, ob das Verkehrssystem den Marktkräften auszusetzen ist – wobei es sich entweder transformiert, verschwindet oder in Nischen verbleibt - oder weitere Subventionen das Verkehrssystem in einem degenerierenden Markt konservieren sollen.

- **Hinderliche Maßnahmen:** Mit inkrementellen Innovationen an der Technologie ist das Marktpotenzial bereits in den vorangegangenen Evolutionsphasen ausgeschöpft worden – die Technologie ist durchoptimiert. Öffentliche Gelder zur Stabilisierung der Patt-Situation zu investieren, z.B. zur finanziellen Förderung inkrementeller Innovationen, kann das Patt weder auflösen, noch die Konkurrenzbedingungen des Verkehrssystems am Markt verbessern. Gleiches gilt für schützende organisatorische Maßnahmen. Schützende Regularien beispielsweise würden mögliche positiv gerichtete Reformen zusätzlich erschweren. Darüber hinaus fehlen

die öffentlichen Gelder oder die wirtschaftliche Handlungsfreiheit in Fällen von schützenden Regularien, welche der Entwicklung von Verkehrssystemen oder Technologien dienen können, die sich in einem früheren Evolutionsstadium befinden und das Patt auflösen könnten.

- **Förderliche Maßnahmen:** Es gibt durchaus einige Gründe, die Degenerierung eines Marktes bzw. eines Verkehrssystems aufzuhalten (siehe Kapitel 2.2). Förderliche organisatorische und monetäre Maßnahmen in der Pattsituation eines Verkehrssystems sind a) den Rückzug in rentable Nischen zu unterstützen, weil aus diesen Nischen neue Wachstumschancen entstehen können und/oder b) neue Lösungsideen für den Verkehrsträger zu fördern, was nur mittels radikaler Innovationen geschehen kann. Letzteres ist insbesondere durch einen Transfer einer Nischentechnologie aus einem Nischenmarkt (siehe Quadrant 1) zu erreichen. Monetäre und organisatorische Maßnahmen sind hierfür förderlich (Infrastrukturanpassung, Wettbewerbsstrukturen, etc.). Weiterhin ist die Erosion der Infrastruktur zu verzögern. Der Rückbau führt zum beschleunigten Abbau unrentabler Strecken sowie Angeboten und das betroffene Verkehrssystem verliert seine Netzfunktion. Ein verzögerter Rückbau erhält das Netz und die erreichte Raumanbindung, so dass Unternehmer mit radikalen Innovationen (aus der ersten Evolutionsphase) bei der Nachnutzung der Infrastruktur Vorteile schöpfen können.

Heinze (1979) charakterisiert ein Verkehrssystem als ein komplexes System mit Eigendynamik, in dem verkehrspolitische Restriktionen lediglich kreative Umgehungsstrategien und Wieder-Anpassungen zur Folge hatten und sich damit bisher selten die gewünschten Effekte durch politische Maßnahmen einstellten. Der entscheidende Punkt des Analyseschemas und der resultierenden Politikprinzipien ist, dass sie eine Abkehr von einer Verkehrspolitik postulieren, die sequenziell auf Partikularinteressen eingeht. Die Verkehrsinnovationspolitik könnte vielmehr den Förderbedarf aus den dynamischen, versetzt ablaufenden Evolutionsphasen der Verkehrssysteme und den jeweiligen Abhängigkeiten der Phasen abgeleitet werden. Die absehbaren Vorteile der hierfür zuvor postulierten Politikprinzipien wären:

- a) Die öffentliche Hand wäre vorrangig ein Unterstützer und nicht ein Beschützer von Verkehrssystemen.
- b) Der Wettbewerb zwischen alten, neuen und koexistierenden Technologien und Verkehrsangeboten wird erhöht und dies nicht als Preiswettbewerb sondern als Wettbewerb um die Qualität des Marktangebotes.
- c) Dieser Wettbewerb steigert sich konstruktiv, denn es gibt keine „Gegen-Maßnahmen“ sondern ein Bedarf je Evolutionsphase.
- d) Die dynamischen Bedürfnisse der Nachfrager wären stets die Ausgangslage der Analyse.
- e) Die Verkehrssysteme können, Ihrem Leistungsprofil entsprechend, eine Rolle im Gesamtsystem einnehmen - inklusive einem marktkonformen Rollenwechsel im Zusammenspiel mit neuen Verkehrssystemen.

- f) Nach einem Rollenwechsel kann einerseits der Rückzug in die Nische für bestehende Verkehrsangebote unterstützt oder andererseits Basisinnovationen gefördert werden, die aus dem technologischen Patt herausführen und damit zukunftsfähige Reformen umsetzen. Alternativen sind hierfür in der Langfrist-Perspektive rechtzeitig entwickelt und verfügbar.
- g) Politische Ziele können die Entwicklung des Gesamtverkehrssystems lenken (z.B. Verlagerung von Gütern auf die Bahn) und der Staat kann eine langfristig orientierte Gestaltungsfunktion übernehmen.
- h) Das staatliche Handeln kann sich an modernen innovations- und industrieökonomischen Grundlagen orientieren und Maßnahmen sowie deren Unterlassungen wissenschaftlich fundiert begründen.

Somit wäre eine konsistente Verkehrspolitik bei der Koexistenz von Verkehrssystemen möglich und eine nachhaltige Wirtschafts- und Verkehrssystementwicklung erreichbar. Die Koexistenz der Verkehrsträger erzeugt dann weniger Dilemmata und bietet langfristig ausgerichtete Rahmenbedingungen zur positiven wirtschaftlichen und verkehrlichen Entwicklung.

Zur Verdeutlichung der praktischen Relevanz wird im nächsten Abschnitt das Analyseschema und dessen Prinzipien auf eine aktuelle verkehrspolitische Fragestellung angewendet und die Nutzung demonstriert.

4. Fallstudie: Die Zulassung von Lang-Lkw in Deutschland

Im Güterfernverkehr hat der Gliederzug-Lkw eine maximale Länge von 18,75 Meter (der Sattelzug 16,50 Meter) und ein zulässiges Gesamtgewicht von 40 Tonnen bzw. im kombinierten Verkehr 44 Tonnen. Aufgrund des Drucks der verladenden Wirtschaft und aufgrund des Arguments höherer Energieeffizienz gibt es Bestrebungen, die Maximallänge (aber nicht das Maximalgewicht) zu erhöhen. Damit werden sog. Lang-Lkw mit einer Gesamtlängen von bis zu 25,25 Meter möglich. Seit Jan 2017 sind solche Lang-Lkw in Deutschland mittels einer Ministererlaubnis auf einem definierten Streckennetz für den Regelbetrieb zugelassen worden (BMVI 2016). Der Lang-Lkw ist insbesondere von der Logistikbranche bzw. deren Verbänden wegen seiner „ökonomischen und ökologischen Vorteile“ (DLSV 2016) gefordert worden. Bereits in der fünfjährigen Testphase vor der Zulassung wurde der Lang-Lkw vor allem wegen möglicher Verkehrsverlagerungen von der Schiene auf die Straße kontrovers debattiert. Es gibt inzwischen einige wissenschaftliche Studien, die zu sehr unterschiedlichen Vorhersagen hinsichtlich der Auswirkungen auf den Modalsplit kommen. Schienenverkehrsaffine Unternehmen und Verbände, sowie auch ministeriale Ressorts haben sich gegen diese Entscheidung positioniert sowie sich im Vorfeld dagegen ausgesprochen und dabei auf die Verlagerungspolitik sowie noch ungenutzte Verbesserungspotenziale des Schienenverkehrssystems verwiesen.

Zufällig, oder um der Kritik zu begegnen, sind *deutliche Reduktion der Trassenpreise für den Schienengüterverkehr*, vorbehaltlich der Zustimmung des Finanzministeriums, sowie der Ausbau des Netzes für 740 Meter lange Güterzüge im Juli 2017 beschlossen worden. Weitere Maßnahmen im aufgesetzten Masterplan Schienengüterverkehr sollen den Fuhrpark modernisieren, das Netz ertüchtigen und einen zukunftsfähiges Schienengüterverkehrssystem entwickeln.

Das Dilemma für die aktuelle Verkehrs- und Innovationspolitik durch die etablierten Politikprinzipien lautet im Fall des Lang-Lkw: Einerseits die Verlagerung von Gütertransporten auf die Schiene proklamieren, andererseits Innovationen für den Straßengüterverkehr derart akzentuiert fördern, das Systemvorteile der Schiene geschwächt werden, was wiederum mit Gegenmaßnahmen versucht wird auszugleichen.

Hätte der Lang-Lkw nicht zugelassen werden sollen, da in der Folge Verlagerungen von Schienentransporten auf die Straße nicht abwegig sind? Sind die Potenziale des Schienengüterverkehrssystems für ein nachfrageorientiertes Marktangebot strukturell gegeben, von der Politik aber bisher unzulänglich gefördert? Dies sind beispielhafte, für die Fallstudie Lang-Lkw, zu beantwortende Fragen, die entweder im Vorfeld der Entscheidung oder nun im Nachgang als Analysebeispiel für zukünftige Entscheidungen in der Güterverkehrs- und Innovationspolitik beantwortet werden sollten. Dazu wird das Analyseschema nachstehend angewandt, um a) die Anwendung selbst zu demonstrieren sowie b) Handlungsempfehlungen aus Sicht des Analyseschemas für den Fall Lang-Lkw abzugeben.

Zur Anwendung des Analyseschemas wird als hypothetische verkehrspolitische Aufgabe angenommen: Man möchte verstärkt Güterverkehre umweltfreundlich auf Basis der Schiene abwickeln – gleichzeitig möchte man den Forderungen der produzierenden und handelnden Wirtschaft sowie der Logistikbranche nach einem leistungsfähigen Güterverkehrssystem nachkommen. Die Innovation als Mittel der Wahl ist hierfür der Lang-Lkw: Der Lang-Lkw stellt aus Sicht der Hersteller eine inkrementelle technische Innovation dar. Ein Lang-Lkw fördert weiterhin potenziell inkrementelle organisatorische Innovationen für die Logistikbranche, da veränderte Logistikkonzepte umgesetzt werden können. Für politische Aufgabenträger ist die Zulassung des Lang-Lkw eine organisatorische Innovation, denn bestehende Regularien müssen angepasst werden.

Zunächst muss evaluiert werden, in welcher Evolutionsphase sich die Verkehrssysteme a) Schiene und b) Straße befinden:

- a) Die Durchsetzung der Eisenbahn als Verkehrssystem war eine Folge veränderter Transportanforderungen aus der ersten industriellen Revolution heraus. Die technisch-organisatorischen Einsatzmöglichkeiten der Eisenbahn förderten die Industrialisierung in Deutschland und damit schuf sich das Verkehrsmittel eine neue und ausgeweitete Güterverkehrsnachfrage: Massengüter für und aus der großindustriellen Produktion (unabhängig vom Ort des Ressourcenaufkommens), sowie für den Bahnbetrieb selbst. Das Netz, in Folge einer beschleunigten Wachstumsphase des Eisenbahnsystems ab ca. 1850, hatte seine größte Ausdehnung

um 1913 erreicht (vgl. Heinze und Kill 1988). Mit der Durchsetzung des Automobils bzw. des Lkw ist der Marktanteil seit dem auf unter 25% der Verkehrsleistung in Deutschland gesunken⁵. Daraus kann zweifelsfrei geschlossen werden, dass die ersten drei Phasen der Verkehrssystemevolution abgeschlossen sind und sich das Verkehrssystem in der Degenerationsphase (vierte Evolutionsphase) befindet. Weiterhin wurde es in dieser Phase mit öffentlichen Mitteln als Verkehrssystem erhalten – und koexistiert damit zur Binnenschifffahrt und zur Lkw-basierten Logistik.

- b) Die Lkw-basierte Logistik ist auf kleinteilige Güter von arbeitsteiligen, räumlich getrennt und flexibel agierenden Produktions- und Handelsunternehmen spezialisiert. Diese Stärke des Verkehrssystems konnte seit dem Aufschwung der Wirtschaft in Westdeutschland nach dem Zweiten Weltkrieg, in der sich eine Industrielandschaft durch spezialisierte mittelständische Unternehmen entwickelte, was vermehrt Netzabhängigkeiten in Produktion und Handel zur Folge hatte, erfolgreich eingesetzt und entwickelt werden. Die Lkw-basierte Logistik hat diese Entwicklung, intensiv ab den 90ern, durch den Service der Integration von Produktions- und Handelssystemen und der Transportlogistik in Form der Kontraktlogistik gefördert (vgl. Baumgarten 2010) und sich so eine eigene Nachfrage für die heute bestehende komplexe Logistik in und zwischen Wertschöpfungsketten geschaffen – den Logistikeffekt. Weiterhin werden derzeit ca. 70% der Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr erbracht und somit ist es unstrittig die dominante Transportform. Daraus kann abgeleitet werden, dass sich die Lkw-basierte Logistik in der 3. Phase der Verkehrssystemevolution befindet, der Wachstumsphase.

Aus den beschriebenen Politikprinzipien des Analyseschemas können nun nachstehenden Fragen⁶ strukturiert wie folgt beantwortet werden:

1. Hätte der Lang-Lkw nicht zugelassen werden sollen, da in der Folge Verlagerungen von Schienentransporten auf die Straße nicht abwegig sind?

Die Entscheidung betrifft die Anpassung einer historisch gewachsenen Regulation: der StVO und der StVZO. Die Zulassung der Lang-Lkw ist im Sinne einer nachhaltigen Verkehrs- und Innovationspolitik konsistent, denn sie dient der Effizienzerhöhung des dominanten Verkehrssystems. Mit der Überarbeitung einer bestehenden Regulierung ist es ermöglicht worden, dass sich Logistikstrukturen selbstfinanziert an geänderte Nachfragestrukturen anpassen bzw. diese unternehmerisch gestalten können. Damit ist eine

⁵ Nach Eurostat-Daten. Dabei muss noch beachtet werden, dass sich die Verkehrsleistung aus Gewicht*Kilometer berechnet und damit Massengüter stärker in den Indikator eingehen, als die Bedeutung in den Transportmärkten tatsächlich ist. Laut Schwemmer et al. (2015) ist die Schiene in die Stückgut- und Kontraktlogistik nicht maßgeblich integriert.

⁶ Diese Frage als auch die sich anschließende Frage 2 sind bewusst bewertend formuliert, um einen politischen Diskurs zu simulieren.

Rendite bei Fahrzeugherstellern sowie Logistikunternehmen für die Innovation gegeben. Ggf. kann neben einer Serviceerweiterung auch eine Kostenreduktion an die versendende Wirtschaft weitergegeben werden. Diese Vorteile dem Regime vorzuenthalten, zum Schutz bzw. zur Stabilisierung eines Verkehrssystems, hier der Schiene, ist dabei nicht gewichtig zu bemessen. Auch wenn sich Verlagerungen von der Schiene auf die Straße einstellen sollten, was auf Grund internationaler Erfahrungen nicht abwegig ist, zeigt dies nur, dass es noch Effizienzpotenziale für den Straßengüterverkehr gibt. Eine Verlagerung wäre vielmehr als ein Impuls zur Innovation im Schienengüterverkehr zu verstehen, möglicherweise genau an den Stellen wo die Verlagerung stattfindet, als zur Begründung für künstliche Barrieren zur Systemevolution in der Lkw-basierten Logistik zu nutzen. Die Versuchsphase sowie die ggf. nötigen Anpassungen an der Infrastruktur und der Organisation des Verkehrsablaufes wären jedoch durch die Produzenten oder Nutzer der Lang-Lkw zu tragen – nicht mit öffentlichen Ressourcen zu finanzieren.

2. Sind die Potenziale des Schienengüterverkehrssystems für ein nachfrageorientiertes Marktangebot strukturell gegeben, von der Politik aber bisher unzulänglich gefördert?

Eine Ausweitung des Marktangebotes mittels inkrementeller Innovationen ist bei der Schiene kaum mehr gegeben, denn die Technik ist in deren vorangegangenen Evolutionsphasen bereits durchoptimiert worden. Sie befindet sich in einem technologischen Patt (detailliertere Analyse siehe Müller et al. 2016). Daher sind Schutzmechanismen, in diesem Fall, zunächst eine Verhinderung von Systemverbesserungen bei der Straße, keine zukunftsorientierte Politik, sondern eine Politik die Ineffizienzen und Externalitäten fördern würde. Vielmehr muss in der Patt-Situation das Marktangebot auf der Schiene strukturell und technisch reformiert werden – dazu sind nach theoretischer Auffassung radikale Innovationen nötig, die auch einer politischen Unterstützung bedürfen. Relevant ist demnach, welche radikalen Innovationen in der ersten Phase der Evolutionsstufe das Schienenverkehrsangebot reformieren und in welcher Marktnische mit Wachstumspotenzial diese eingesetzt werden können? Optionen und Markteintrittsmöglichkeiten sind in Müller et al. (2016) vertieft diskutiert. Eine Förderung von radikalen Innovationen mit finanziellen und organisatorischen Maßnahmen ist in dieser Phase eine konsistente Verkehrspolitik. Eine Senkung der Trassenpreise ist somit keine zukunftsweisende Maßnahme. Der Preiswettbewerb führt, das wurde unter anderem im Innovator's Dilemma oben ausgeführt, nicht zur Innovationsfähigkeit, sondern zum Gegenteil. Im Masterplan Schienengüterverkehr sind weitere Maßnahmen dargestellt, die, wenn man zusammenfassen darf: a) bestehende Nachteile der Schiene gegenüber dem Lkw was Geschwindigkeit, IKT-Einsatz, Netzzugang, Leistungsfähigkeit der Infrastruktur, Automatisierung auszugleichen anstreben und b) die Umwelt-Performance der Schienenfahrzeuge forcieren sollen. Der Schienengüterverkehr ist nach dem im Masterplan dargestellten Leitbild zukünftig eine tragende Säule des europäischen Transportsystems: sicher, umweltfreundlich sowie entlastend für die Straßen. Damit entspricht das Leitbild der Zukunft in etwa dem, was bereits heute dem Schienengüterverkehr bescheinigt werden kann und die Maßnahmen sind bei genauerer Betrachtung eine Überführung bereits laufender oder abgeschlossener Maßnahmen bzw. Innovationen aus dem Straßengüterverkehr zum Schienengüterverkehr. Es werden in keinen der Maßnahmen für

den Kunden spürbare Vorteile gegenüber dem Lkw herausgearbeitet – es bleibt ein sicheres, umweltfreundliches, Straßen entlastendes Verkehrsmittel sowie neben Straße und Binnenschiff eine dritte Säule im Gesamtverkehrssystem (Luftfrachtverkehr vernachlässigt). Auf Grund des theoretischen Konzeptes des Artikels kann mit hoher Wahrscheinlichkeit prognostiziert werden, dass der Maßnahmenkatalog kaum zu einer Verkehrsverlagerung zur Schiene führen wird. Dennoch kann man sagen, dass trotz des Masterplans Schienengüterverkehr die Potenziale der Schiene unzulänglich gefördert werden. Der Maßnahme 3.2 (*Möglichst spezifische Fördermöglichkeiten im Rahmen eines Bundesprogramms „Zukunft Schienengüterverkehr“ schaffen*) im Masterplan Schienengüterverkehr (BMVI 2016) kommt die größte Bedeutung zu. Dies sollte aber genereller geschehen als nur hinsichtlich der „stärker automatisierten letzten Meile“ gewidmet. Basierend auf Müller et al. (2016) und dem hier dargestellten Analyseschema kann als wichtigste Empfehlung für die Maßnahme 3.2 formuliert werden: in den Diskurs mit Inventoren und Innovatoren radikaler Ideen für einen neuen Schienengüterverkehr zu treten und anschließend Förderinstrumente für das Wachstum von Marktnischen, Geschäftsmodellen und entsprechenden Technologien zu evaluieren.

Es zeigt sich, dass die Zulassung einiger Lang-Lkw-Typen eine konsistente Förderung von Innovationen darstellt. Schlechte Auswirkungen auf den Schienengüterverkehr als Grund zur Ablehnung des Lang-Lkw zu nehmen, würde Ineffizienzen und Externalitäten im Markt schaffen. Dort, wo das Leistungsangebot der Schiene dem der Straße überlegen ist, wird keine Verlagerung stattfinden. Wo dies nicht der Fall ist, ist eine Verlagerung als Marktmechanismus zu erwarten. Für das Ziel Güterverkehre verstärkt umweltfreundlich auf Basis der Schiene abzuwickeln, sollte die Innovationspolitik eine der Evolutionsphase der Schiene entsprechenden Strategie zur Erlangung eines konkurrierenden Marktangebotes aufsetzen und konsequent verfolgen: radikale Innovationen in wachstumsfähigen Nischenmärkten monetär und organisatorisch fördern.

Zusammenfassung

Die Verkehrspolitik mit ihrem klassischen Kernbereich der Infrastrukturpolitik überlappt zunehmend mit anderen Politikbereichen – insbesondere mit der Umwelt- und der Innovations- bzw. Wirtschaftspolitik – und übernimmt damit auch deren Zielsysteme. Grundsätzlich folgten die Zielsysteme bestimmten Prinzipien, denen wiederum wirtschaftswissenschaftliche Theorien zugrunde liegen. Durch sich widersprechende Ziele und dem Einfluss von Interessensvertretergruppen wirken verkehrspolitische Programme und Maßnahmen zunehmend sprunghaft und inkonsistent.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche theoretisch fundierten Politikprinzipien als Entscheidungsgrundlage für eine konsistente langfrist- und innovationsorientierte, monomodale und integrierte Verkehrspolitik gelten können?

Als Ausgangspunkt der Analyse dient die Evolutionsökonomie und weitere industrieökonomische Theorien, welche zusammen genommen die wirtschaftliche Entwicklung, technischen Fortschritt und technologische Wandelprozesse theoretisch

fundieren. In dem Artikel wird ein Analyseschema vorgestellt, in dem versetzt ablaufende Phasen der Verkehrssystemevolution und die Innovationsbedingungen je Phase, zu konsistenten Politikprinzipien führen.

Der Aufsatz schließt mit einer Analyse der aktuellen verkehrspolitischen Debatte im Güterverkehr: die Einführung des Lang-Lkw. Unter Anwendung der entwickelten Politikprinzipien wird aufgezeigt, dass eine Förderung von Innovationen im Lkw nicht mit dem Argument seiner vermeintlich schlechten Auswirkungen auf den Schienengüterverkehr verhindert werden sollten. Stattdessen sollte die Innovationspolitik auf der Straße mit einer angemessenen Strategie zur Erlangung der Zukunftsfähigkeit der Schiene begleitet werden.

Literatur

- Baumgarten H. (2010): *Das Beste der Logistik*. Springer (Hrsg.). Auflage: 2008. ISBN-10: 3540784047.
- Beise M. (2004): Lead markets: country-specific drivers of the global diffusion of innovations. In: *Research Policy*. Vol. 33 (2004). S. 997–1018.
- BMVI (2016): Lang-LKW fahren dauerhaft auf geeigneten Strecken - Überführung des Feldversuchs in den streckenbezogenen Regelbetrieb. <http://www.bmvi.de/goto?id=289348> (Letzter Zugriff 27.04.2017). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016).
- BMVI (2017): *Masterplan Schienengüterverkehr*. Berlin. Juni 2017.
- Christensen, C. M. (1997a): Patterns in the Evolution of Product Competition. In: *European Management Journal* Vol. 15, No. 2, S. 117-127, 1997.
- Christensen, C. M. (1997b): *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1997.
- Christensen, C. M. und Rosenbloom R.S. (1995): Explaining the attacker's advantage: technological paradigms, organizational dynamics, and the value network. In: *Research Policy*, Vol. 24. S. 233-257. 1995.
- Dosi G. (1982): Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. In: *Research Policy*, Vol. 11. Issue 3. S. 147-162.
- DSLVL (2016): *Positionspapier zur Überführung des Feldversuchs mit Lang-Lkw in den Regelbetrieb*. Berlin, 21. September 2016. Deutscher Speditions- und Logistikverband e. V. (2016).
- Edler J. und Georghiou L. (2007): Public procurement and innovation—Resurrecting the demand side. In: *Research Policy*. Vol. 36 (2007) S. 949–963.
- Fagerberg J. (2003): Schumpeter and the revival of evolutionary economics: an appraisal of the literature In: *Journal of Evolutionary Economics*, 13, 125-159.
- Geels F. W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. In: *Research Policy*. Vol. 31. S. 1257–1274.
- Geels F. W. (2010): Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. In: *Research Policy*. Vol 39. S. 495–510.
- Grandjot H.H. und Bernecker T. (2014): *Verkehrspolitik: Grundlagen, Herausforderungen, Perspektiven*. DVV Media Group. ISBN 978-3-87154-495-8.

- Heinze G.W. (1979): Verkehr schafft Verkehr: Ansätze zu einer Theorie des Verkehrswachstums als Selbstinduktion. In: *Berichte zur Raumforschung und Raumplanung*. Vol. 23 (4/5). S. 9-32 Springer Verlag, ISSN 0005-9102. Wien.
- Heinze G.W. (1985): Zur Evolution von Verkehrssystemen – Perspektiven der Telekommunikation. In: *Perspektiven verkehrswissenschaftlicher Forschung – Festschrift für Fritz Voigt zum 75. Geburtstag*. Herausgegeben von Sigurd Klatt. Duncker & Humblot (1985).
- Heinze G.W. und Kill H.H. (1987): Chancen und Grenzen der neuen Informations- und Kommunikationstechniken. Zur Übertragung verkehrsevolutorischer Erfahrungen auf die Telekommunikation. In: *Räumliche Wirkungen der Telematik, Veröffentlichung der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Forschungs- und Sitzungsberichte*. Band 169, S. 21-72, Hannover.
- Heinze G.W. und Kill H.H. (1988): The development of the German railroad system, In: *The development of large technical systems*, Publications of the Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Köln, Vol. 2, Ed. by Renate Mayntz, Thomas P. Hughes, Campus, Westview Press, Frankfurt am Main, Boulder (Colorado), 1988, S. 105-134.
- Heinze G.W. und Kill H.H. (1988): The development of the German railroad system, in: *The development of large technical systems*, Publications of the Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Köln, Vol. 2, Ed. by Renate Mayntz, Thomas P. Hughes, Campus, Westview Press, Frankfurt am Main, Boulder (Colorado), S. 105-134.
- Mazzocato M. (2013): *The Entrepreneurial State - Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Anthem Press 2013.
- Mensch G. (1975): *Das technologische Patt: Innovationen überwinden die Depression*. Umschau Verlag Breidenstein KG. ISBN 3-524-00643-4.
- Müller S. und Liedtke G. und Lobig A. (2016): Chancen und Barrieren für Innovationen im deutschen Schienengüterverkehr: Eine innovationstheoretische Perspektive. In: *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft* (03/2016).
- Müller S. und Liedtke G. (2017): *Konzept der Verkehrssystemevolution: Eine erweiterte Multi-Level Perspektive* (eingereichte Publikation).
- Nelson R.R und Winter S.G. (1982): *An evolutionary theory of economic change*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge Massachusetts and London, England.
- Loorbach D. A. (2007): *Transition Management - New mode of governance for sustainable development*. Dissertation. Erasmus Universiteit Rotterdam.
- Perez C. (2003): *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar, Cheltenham. ISBN: 1843763311.

-
- Pierson P. (2000): Increasing Returns, Path Dependence and the Study of Politics. In *The American Political Science Review*, Vol. 94, No. 2. pp. 251-267.
- Schöller O. (2006): *Mobilität im Wettbewerb - Möglichkeiten und Grenzen einer integrierten Verkehrspolitik im Kontext deregulierter Verkehrsmärkte*. Hans-Böckler-Stiftung (Hrsg.) Edition 162. ISBN 3-86593-039-5.
- Schwemmer M., Kille C. und Reichenauer C. (2015): *Less Than Truckload Networks – The European market for Network based cross border goods flows (Excerpt from the Study)*. Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS (Hrsg.). Stuttgart 2015.
- Sydow J., Schreyögg G. und Koch J. (2009): Organizational path dependence: Opening the black box. In: *Academy of Management Review*. Vol. 34. No. 4. pp. 689–709.

**Kommentar zu dem Beitrag:
Verkehrssysteminnovationen und -evolution:
Politikprinzipien für eine langfrist- und innovationsorientierte,
integrierte Verkehrspolitik
(von Stephan Müller und Gernot Liedtke)***

VON CLAUD DOLL

Die Verkehrspolitik steckt bezüglich seiner Klimabilanz in der Krise. Während, getrieben durch technologische Innovationen und Regulierung, die Verkehrstoten, Luftschadstoffemissionen und Lärmbelastung in den letzten Jahrzehnten mehr oder weniger deutlich zurückgegangen sind, steigen die Treibhausgasemissionen des Sektors weiter. Versuche, die Effizienz der Verkehrsbereiche so zu verbessern, dass zumindest das Mengenwachstum im Personen- und Güterverkehr kompensiert wird, waren in der Vergangenheit bestenfalls marginal erfolgreich. So führte die Einführung der Lkw-Maut 2005 nicht zu den erhofften Verbesserungen von Ladefaktoren. Das Verhalten von Verladern und Transportunternehmen im Güterverkehr ist in erster Linie durch den Transportpreis und erst mit einigem Abstand durch Transportzeiten, Qualität und andere Faktoren gekennzeichnet. Verhaltensänderungen hin zu mehr Nachhaltigkeit sind hier durch deutliche regulatorische Maßnahmen oder durch technologische Innovationen zu erreichen.

In diesem Feld engagiert sich die Arbeit von Müller und Liedtke (2017) zu „Verkehrssysteminnovationen und -evolution: Politikprinzipien für eine langfrist- und innovationsorientierte, integrierte Verkehrspolitik“. Nach einem Diskurs zum Dilemma

* Die Qualitätsprüfung / -sicherung des Beitrags „Verkehrssysteminnovationen und -evolution: Politikprinzipien für eine langfrist- und innovationsorientierte, integrierte Verkehrspolitik“ von Stephan Müller und Gernot Liedtke erfolgte gemäß dem auf der Homepage der Zeitschrift für Verkehrswissenschaft dargestellten (Alternativ-)Ansatz zur transparenten Qualitätsprüfung und -diskussion (siehe www.z-f-v.de → „Einreichung von Beiträgen und Begutachtung / Qualitätsprüfung“). Dabei wird von einem fachkundigen Wissenschaftler eine zustimmende Stellungnahme zur Veröffentlichung des Beitrags eingeholt und zusammen mit dem Beitrag veröffentlicht.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Claus Doll
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
E-Mail: claus.doll@isi.fraunhofer.de

zwischen mono- und multimodalen Förderpolitiken und einem Rückblick zur Theorie der Verkehrssystemevolution einer vorangehenden Veröffentlichung der Autoren wendet sich die Arbeit der Fallstudie überlanger Lkw zu. Das seit Mitte der 2000er Jahre auf ausgewählten Strecken erprobte Konzept firmierte unter den Bezeichnungen Eco-Combi seitens der Lkw-Wirtschaft oder Monstertruck seitens der Schienen-Community. Nach der Systematik der Verkehrssystemevolution handelt es sich bei der Erhöhung der Längenmaße um eine inkrementelle Innovation am Ende der Evolutionsphase 3: Wachstum. Im Gegensatz dazu befindet sich die Güterbahn bereits in der Phase 4: Degeneration. Diese ist durch ein „technologisches Patt“ und das „Innovator's Dilemma“ mit sinkenden Gewinnmargen geprägt.

Die Ausführungen demonstrieren, dass sich auch die noch wachsende Automobil- bzw. Lkw-Branche im Übergang zur Degenerationsphase befindet und durch neu aufkommende Innovationen herausgefordert wird. Welche dies sein könnten lässt die Arbeit jedoch offen. Vorstellbar wären hier die Systeme CargoCap (Deutschland), Cargo Sous Terrain (Schweiz) oder Hyperloop ONE (USA) als abgeschlossene Fördersysteme für Container, oder die Güterbeförderung mit Drohnen zu nennen. Schließlich lassen sich auch multimodale Handelsplattformen für Transportkapazitäten als nächsten Innovationsschritt auf der Systemebene verstehen.

Die Arbeit entwickelt ein Analyseschema der vier Innovationsphasen, in welchen förderliche und hinderliche Maßnahmen für den Markterfolg der jeweiligen Technologie aufgelistet werden. Diese Darstellung erscheint sehr hilfreich für die phasenabhängige Gestaltung einer wirkungsvollen Innovationspolitik. Anzumerken ist hierzu, dass das übergeordnete Ziel einer Innovationspolitik deren Ausrichtung mitbestimmen sollte. So kann es tatsächlich volkswirtschaftlich erwünscht sein, potenziell unerwünschte Technologien in frühen Innovationsphasen zu bremsen.

Die Autoren sprechen deutlich die hinderliche Wirkung schützender Regulierungen für Technologien in späten Innovationsphasen, wie dem jüngst beschlossenen Absenken der Trassenpreise für den Schienengüterverkehr oder Tests mit längeren Zügen an. Stattdessen stellt die Unterstützung rentabler Nischen als Wachstumskeim eine förderliche Strategie für den Bahngüterverkehr dar. Die Autoren argumentieren für die Einführung des Lang-Lkw, da damit noch ungenutzte Effizienzpotenziale des dominanten Verkehrssystems Straße in dessen Wachstumsphase unterstützt würden. Nimmt man die ungelöste Frage des Klimaschutzes im Verkehr ernst, wäre hier jedoch solange ein Fragezeichen zu setzen, bis andere Massenverkehrsträger mit einer wesentlich günstigeren Treibhausgasbilanz als der Schienenverkehr etabliert sind. Der Lang-Lkw wird diese für den Straßenverkehr nicht bewerkstelligen können.

Die Autoren argumentieren, dass eine inkrementelle Ausweitung des Marktangebots der Schiene kaum mehr gegeben sei, da die Technologie in vergangenen Evolutionsphasen bereits optimiert worden sei. Dies ist grundsätzlich richtig. Es ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass die Schiene durch eine historisch gewachsene Überregulierung und staatliche Einflussnahme weit von einer freien Marktentfaltung entfernt ist. Staatliche Schutzbemühungen des Schienensektors haben sich in der Vergangenheit, und zum Teil

noch bis heute, wesentlich auf die Abwehr ausländischer Konkurrenz innerhalb des Sektors konzentriert. Im Sinne der von Müller und Liedtke entwickelten Systematik der Verkehrssystemevolution bedeutet dies, dass der Bahnsektor bereits in der Wachstumsphase vor Marktkräften geschützt und damit Innovationen im Sektor verhindert wurden. Mit Blick auf die gegebene Situation der Verkehrsträger ist der Empfehlung der Autoren, Innovationen mit Wachstumspotenzial in Marktnischen der Schiene konsequent zu fördern, jedoch uneingeschränkt zuzustimmen.

Abschätzung der Kapitalkosten im Rahmen des Eisenbahnregulierungsgesetzes¹

VON MARITA BALKS²

Die Bundesregierung möchte im Rahmen des neuen Entgeltregulierungsgesetzes, ERegG, die Gesamtkosten für die Betreiber von Schienenwegen als Grundlage für die zukünftigen Trassenpreise neu festlegen. Die Festlegung des Ausgangsniveaus beruht auf der Fortschreibung der Kosten eines „Basisjahres“, welches als Durchschnittswert aus festzulegenden Bezugsjahren der Vergangenheit gebildet wird.³

Gemäß ERegG ist eine kapitalmarktübliche Verzinsung des eingesetzten Kapitals Teil der Kosten des Betreibers der Schienenwege.⁴ Für börsennotierte Unternehmen versteht man darunter die Abschätzung der Kapitalkosten mit Hilfe der Weighted Average Cost of Capital (WACC). Gegenstand dieses Beitrags ist die Untersuchung, inwieweit die Besonderheiten der DB Netz AG eine Anwendung dieses Modells zulassen.

1. Rechtliche Rahmenbedingungen und theoretische Ableitung

Das neu erlassene und am 02. September 2016 in Kraft getretene ERegG dient der Umsetzung der europäischen Richtlinie 2012/34/EU zur Schaffung eines einheitlichen

Anschrift der Verfasserin:

Prof. Dr. Marita Balks
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Fachbereich 4, Lehrstuhl für Finanzierung
Ostendstraße 1
12459 Berlin
E-Mail: marita.balks@htw-berlin.de

¹ Der Beitrag basiert auf einem Vortrag im Rahmen der Konferenz „Verkehrsökonomik und -politik“ am 30.06.2017 an der TU Berlin sowie einem für die NEE gemeinsam mit Christian Böttger erstellten Gutachten zur Abschätzung der Kapitalkosten. Die Berechnung der Höhe des Eigen- und Fremdkapitals liegt nachfolgend nicht im Fokus, sondern die Ableitung des Kapitalkostensatzes.

³ Für die erste Regulierungsperiode, die die Fahrplanjahre 2019 bis 2023 umfasst, wurden seitens der Bundesnetzagentur die Jahre 2014 bis 2016 als Basisjahre festgelegt und das Verfahren eröffnet, BK10-17-0001_E. Unter Zugrundelegung der durch die DB Netz AG vorgelegten Kosten, erfolgte die Festschreibung der Gesamtkosten durch die Bundesnetzagentur am 28.06.2017. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/1BK-Geschaeftszeichen-Datenbank/BK10-GZ/2017/2017_0001bis0999/2017_0001bis0099/BK10-17-0001/BK10-17-0001_E_Beschluss.html;jsessionid=EFB21A76047CB3EA3FD273DCBADDFA7B?nn=269902, abgerufen am 09.08.2017.

⁴ Schreiben der DB Netz AG vom 29.3.2017, S. 2.

europäischen Eisenbahnraums in deutsches Recht. Neben der Stärkung des Wettbewerbs in Eisenbahnmärkten, soll der Anteil des schienengebundenen Personen- und Güterverkehrs am gesamten Verkehrsaufkommen gesteigert werden.⁵ In § 24, Absatz 4 wird determiniert, dass „ein Betreiber der Schienenwege ein Verfahren für die Zurechnung der Kosten zu den verschiedenen Kategorien von Leistungen, die für Eisenbahnverkehrsunternehmen erbracht werden, festzulegen hat.“⁶ Hierzu zählen u.a. neben aufwandsgleichen Kostenbestandteilen, wie Material- und Personalaufwand sowie Abschreibungen auch Kapitalkosten. Die Konkretisierung der Berechnung dieses Gesamtkostenbestandteils erfolgt in Anlage 4, Ziffer 5: „Die zulässige Verzinsung für das eingesetzte Kapital bestimmt sich aus einer kapitalmarktüblichen Verzinsung“ (Ziffer 5.1).

Eine kapitalmarktübliche Verzinsung ermittelt sich für börsennotierte Unternehmen üblicherweise auf Basis der Weighted Average Cost of Capital (WACC).⁷

$$k_{WACC} = r_{FK} * (1 - s) * \frac{MW^{FK}}{MW^{GK}} + r_{EK} * \frac{MW^{EK}}{MW^{GK}}$$

k_{WACC} = gewichtete Kapitalkosten, Diskontierungssatz

r_{FK} = Renditeforderung, der Fremdkapitalgeber (Fremdkapitalkosten)

r_{EK} = Renditeforderung der Eigenkapitalgeber (Eigenkapitalkosten)

s = Unternehmenssteuersatz

MW_{GK} = Marktwert des Gesamtkapitals ($MW_{GK} = MW_{FK} + MW_{EK}$)

MW_{FK} = Marktwert des zinstragenden Fremdkapitals

MW_{EK} = Marktwert des Eigenkapitals

Formel 1: Weighted Average Cost of Capital (WACC)

⁵ Vgl. u.a. Marktreport SPNV 2015/2016. Ein Lagebericht zum Schienenpersonennahverkehr in Deutschland, S. 52 f.

⁶ ERegG, Eisenbahnregulierungsgesetz vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2082). Auf die Fortschreibung der festzulegenden Kosten unter Berücksichtigung einer Inflationsrate und Produktivitätssteigerungen, wird an dieser Stelle nicht eingegangen.

⁷ Zur theoretischen Fundierung vgl. BREALEY, RICHARD A. / MYERS, STEWART C. / ALLEN, FRANKLIN (2016) Principles of Corporate Finance, 12th. ed., Chapter 8 and 9 basierend auf dem Kapitalstrukturmodell von MODIGLIANI, FRANCO / MILLER, MERTON (1958) The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment. American Economic Review, 48 (3), S. 261-297. MODIGLIANI, FRANCO / MILLER, MERTON (1963) Corporate Income Taxes and the Cost of Capital: A Correction, American Economic Review, 53 (3), S. 433-443.

Diese kalkulatorische Berechnung der erwarteten Verzinsung des eingesetzten Kapitals nach Steuern differenziert nach Eigen- und Fremdkapital, da die Bereitstellung mit unterschiedlichen Rechten und Pflichten der Kapitalgeber verbunden ist. Während Fremdkapital verzinst, befristet und die Kapitalgeber einen Anspruch auf Rückzahlung, unabhängig vom Unternehmenserfolg, haben, wird Eigenkapital als das von den Inhabern einer Unternehmung bereitgestellte Kapital definiert.⁸ Hieraus resultiert, dass klassische Fremdkapitalgeber „nur“ Ausfallrisiken für die Zahlung des Kapitalsdienstes und im Rahmen der Rückzahlung haben. Dagegen müssen Eigenkapitalgeber auch für alle weiteren Risiken der unternehmerischen Tätigkeiten haften. Die Übernahme dieser Risiken soll sich in der erwarteten risikoadäquaten Verzinsung ihres bereitgestellten Eigenkapitals reflektieren.⁹

Die Bestimmung der Fremdkapitalkosten r_{FK} basiert auf den Renditeforderungen der Fremdkapitalgeber, die durch die Bonität des Fremdkapitalnehmers determiniert wird. Zusätzlich zu dem risikofreien Zinssatz r_0 , den ein Anleger für Staatsanleihen mit höchster Bonität erhalten würde, fordern die Fremdkapitalgeber einen „Wagnisaufschlag“, den sogenannten Credit Spread, für die Übernahme des Ausfallrisikos.

Zur Berücksichtigung der steuerlichen Abzugsfähigkeit der Zinsaufwendungen, wird der Fremdkapitalkostensatz um den sog. Tax Shield (1-s) reduziert.

$$r_{FK} = r_0 + \text{Credit Spread}$$

Formel 2: Fremdkapitalkostensatz

Theoretische Grundlage für die Ermittlung der erwarteten Eigenkapitalverzinsung r_{EK} ist das Capital Asset Pricing Model (CAPM) ein Marktgleichgewichtsmodell, das auf SHARPE / LINTNER / MOSSIN zurückgeht und bereits in den 1960er Jahren entwickelt wurde. Das CAPM ist ein „Erklärungsmodell für die Preisbildung auf dem Kapitalmarkt, genauer: zur Erklärung der Marktpreise von Anwartschaften auf unsichere Zahlungen,¹⁰“ d.h. welcher Marktpreis reflektiert das Risiko eines Wertpapiers. Voraussetzung für dieses Modell ist u.a. die Annahme, dass alle Individuen homogene Erwartungen hinsichtlich der zukünftigen Ausgestaltung der Marktparameter haben.

⁸ Vgl. NEUS, WERNER (2015) Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 9. Aufl. S. 58.

⁹ Unter Risiko wird im Folgenden die Streuung einer Zufallsvariable um einen Erwartungswert verstanden.

¹⁰ FRANKE, GÜNTER / HAX, HERBERT (2009) Finanzwirtschaft des Unternehmens und Kapitalmarkt, 6. ü.a. Auflage, S. 354. Vgl. hier auch die Herleitung der Wertpapiermarktlinie aus der Kapitalmarktlinie.

Im Marktgleichgewicht beschreibt die Wertpapiermarktlinie die Beziehung zwischen der erwarteten Rendite eines einzelnen Wertpapiers und β_i .

$$r_i = r_0 + [\mu_M - r_0] * \beta_i$$

Formel 3: Eigenkapitalkostensatz auf Basis der Wertpapiermarktlinie

Die risikoadäquate Verzinsung des Eigenkapitals wird mit der erwarteten Rendite eines Wertpapiers gleichgesetzt. Die über r_0 hinaus gehende erwartete Rendite ist von zwei Faktoren abhängig, nämlich zum einen von der Marktrisikoprämie ($\mu_M - r_0$) als Differenz zwischen der erwarteten Rendite des Marktportfolios r_M und der risikofreien Anlage. Das Marktportfolio enthält alle an dem Markt angebotenen unsicheren Wertpapiere. Darüber hinaus fließt in die Preisbildung das durch Diversifikation nicht zu eliminierende, systematische Risiko eines Wertpapiers β_i ein. Es berechnet sich als Quotient der Kovarianz σ_{iM} der erwarteten Rendite des Wertpapiers i und der Rendite des Marktportfolios mit der Varianz des Marktportfolios σ_M^2 . Für die Ableitung der erwarteten Rendite eines Wertpapiers ist somit nicht die Schwankung des einzelnen Wertpapiers relevant, entscheidend ist vielmehr der stochastische Zusammenhang mit der erwarteten Rendite des Gesamtmarkts. Das heißt, welchen Beitrag zum Risiko des Marktportfolios leistet dieses Wertpapier.

Die theoretischen Grundlagen können anhand zweier börsennotierter Aktien veranschaulicht werden. Historische β -Werte werden täglich veröffentlicht.¹¹ Zum Stichtag 07.08.2017 hatten die im DAX notierte Bayer SE-Aktie ein β von 1,1171, bzw. die Deutsche Bank AG-Aktie ein β von 1,9478 für die zurückliegenden 250 Handelstage.

Bei einem β von 1 entspricht die Schwankung der täglichen Ist-Renditen der des zugrunde liegenden Indizes. Vorausgesetzt, dass die Erwartungen der Anleger auf Basis der historischen Entwicklungen gebildet werden, fordert der Investor genau die Durchschnittsrendite des Marktes. Somit würde die erwartete Rendite beim Kauf der Bayer-Aktie ungefähr der erwarteten Rendite des DAX entsprechen, da laut CAPM β die einzige erklärende Variable für die Preisbildung ist.

¹¹ Vgl. bspw. <https://www.dax-indices.com/index-details?isin=DE0008469008>, abgerufen am 08.08.2017, 13.10 Uhr. Bei den β -Werten handelt es sich um die levered beta, da sie auf Basis der tatsächlichen Kapitalstruktur berechnet werden. Vgl. zur Ableitung eines unverschuldeten Betas, BALLWIESER, WOLFGANG / HACHMEISTER, DIRK (2013) S. 157f.



Abbildung 1: Entwicklung der Bayer SE-Aktie im Vergleich zum DAX, Stichtag, 08.08.2017

Beim Kauf der Deutschen Bank-Aktie, die ein historisches β von 1,9478 hat, würde ein Anleger eine deutliche höhere Rendite erwarten, was auch der Kursverlauf des letzten Jahres im Vergleich zum DAX verdeutlicht.

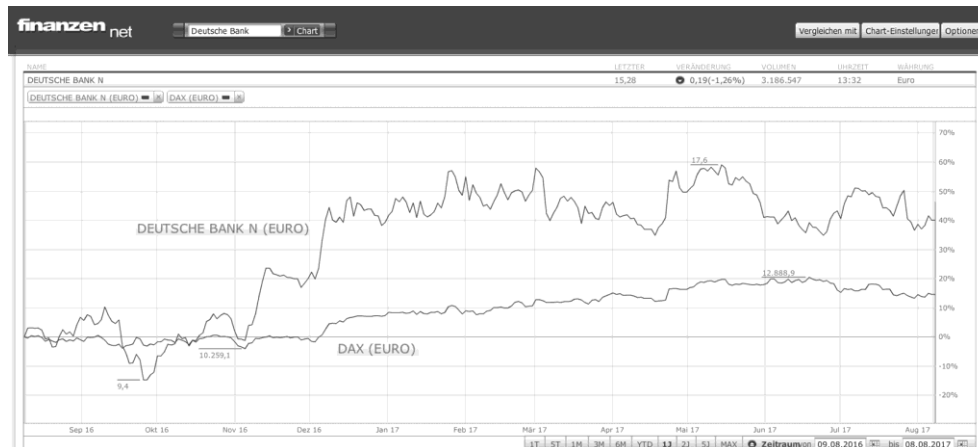
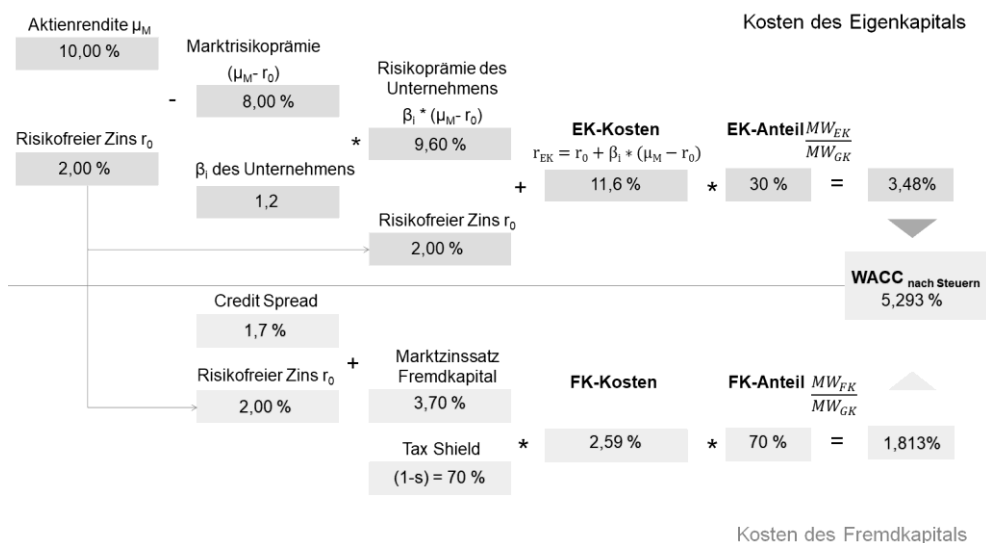


Abbildung 2: Entwicklung der Deutsche Bank AG-Aktie im Vergleich zum DAX, Stichtag 08.08.2017¹²

¹² Vgl. <http://www.finanzen.net/charttool>, aufgerufen am 08.08.2017, 13.31 Uhr.

Fasst man die obigen Informationen zusammen, sind die geforderten Renditen der Kapitalkomponenten noch mit der Kapitalstruktur zu gewichten. Die Gewichtung von Eigen- und Fremdkapital am Gesamtkapital berücksichtigt die aktuelle oder angestrebte Kapitalstruktur, also die Zusammensetzung der Eigen- und Fremdkapitalkomponenten eines Unternehmens.



Steuersatz $s = 30\%$

Abbildung 3: Beispiel zur Berechnung der WACC eines fiktiven Unternehmens

2. Abschätzung in der Praxis

Die Abschätzung der Kapitalkosten eines Unternehmens auf Basis der WACC bietet eine Vielzahl von Herausforderungen. Die auf den ersten Blick sehr einfache Berechnungsformel setzt umfangreiche Annahmen voraus, die in der Realität fast alle nicht gegeben sind. Allein zu der Anwendbarkeit des CAPM's in der Praxis wurden in den letzten 50 Jahren diverse empirische Tests durchgeführt. Die Ergebnisse sind ähnlich: „es existieren keine eindeutigen Aussagen über die empirische Gültigkeit des CAPM's.“¹³ Die Anwendbarkeit des CAPM's ist somit mehr als fragwürdig. Die theoretische Erkenntnis des Modells ist vor allem darin zu sehen, in welcher Weise „Renditen und Risikoprämien

¹³ FRANKE, GÜNTER / HAX, HERBERT (2009), S. 360 sowie die dort zitierten Studien.

unter bestimmten Voraussetzungen bei rationalem Verhalten risikoscheuer Anleger zustande kommen.¹⁴ Eine Auswahl der kritischen Parameter verdeutlicht dies bereits:¹⁵

- Voraussetzung eines vollkommenen Kapitalmarkts (u.a. homogene Erwartungen und rationales Verhalten der Marktteilnehmer)
- Risikoloser Zins r_0 , keine Festlegung der Laufzeit und des zugrundeliegenden Marktes,
- erwartete Rendite des Marktportfolios μ_M , wer schätzt diese für welchen Markt
- Marktrisikoprämie ($\mu_M - r_0$), Berechnung als geometrisches oder arithmetisches Mittel der historischen Daten
- β_i nur für börsengehandelte Werte ableitbar
- Rendite-Intervall sowie Messperiode zur Berechnung von β_i sind nicht terminiert (Tage, Wochen, Jahre)

Problematisch ist allerdings auch, dass Alternativen weiterhin fehlen, trotz umfangreicher Erweiterungen des Modells. Dies hat zur Konsequenz, dass das CAPM, neben der Kapitalkostenberechnung börsennotierter Unternehmen auch bei Unternehmensbewertungen auf Basis des Discounted Cash Flow Verfahrens sowie zur Bewertung von Beteiligungen und sonstigen Unternehmensanteilen (Impairment Tests) für die Zwecke eines handelsrechtlichen Jahresabschlusses zur Anwendung kommt.¹⁶ Die Ermittlung der theoretisch nur schwer zu validierenden Parameter erfolgt üblicherweise über Schätzungen, die in Tabelle 1 exemplarisch aufgezeigt sind.

¹⁴ FRANKE, GÜNTER / HAX, HERBERT (2009), S. 361.

¹⁵ Eine ausführliche Diskussion der Kritikpunkte findet sich bspw. bei BALLWIESER, WOLFGANG / HACHMEISTER, DIRK (2013) Unternehmensbewertung, 4. Aufl., S. 101f. sowie bei BECKERS, THORSTEN / KLATT, JAN PETER (2009) Zeitliche Homogenisierung und Berücksichtigung von Risiko im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, S. 20 f. Eine Diskussion von Annahmen in der Praxis findet sich bei KRUSCHWITZ, LUTZ / LÖFFLER, ANDREAS / ESSLER, WOLFGANG (2009) Unternehmensbewertung für die Praxis. Fragen und Antworten.

¹⁶ Vgl. bspw. IDW S1, Grundsätze zur Durchführung von Unternehmensbewertungen, Stand: 02.04.2008.

| | Theorie | Praxis |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| r_0 | Risikofreier Zinssatz | <ul style="list-style-type: none"> • Umlaufrenditen von Bundesanleihen (Restlaufzeit 10 Jahre) Zinsstrukturkurve • Svensson-Methode zur Abschätzung des Basiszinssatzes |
| r_{FK} | $r_0 + \text{Credit Spread}$ | <ul style="list-style-type: none"> • Abschätzung über Effektivverzinsung von Krediten • Verzinsung emittierter Anleihen |
| MW_{EK} MW_{FK} MW_{GK} | Marktwerte der Kapitalkomponenten | <ul style="list-style-type: none"> • Oft keine Marktwerte vorhanden • Abschätzung über Buchwerte |
| s | Steuersatz des Unternehmens | <ul style="list-style-type: none"> • Ist-Steuersatz des Unternehmens in der Vergangenheit |
| $\mu_M - r_0$ | Erwartete Marktrisikoprämie | <ul style="list-style-type: none"> • Rendite des Dax für μ_M oder „Konstruktion“ eines weltweiten Portfolios • Historische 250 Tage |
| β | Unternehmensspezifischer Risikofaktor | <ul style="list-style-type: none"> • β nur für börsengehandelte Werte ableitbar, historische Kapitalmarktdaten • Schätzung über Peer Group, veröffentlichte Schätzungen • Historisches Beta enthält den Verschuldungsgrad, dieser kann in der Zukunft anders sein • Übliches Vorgehen: Unlevering β, Anpassung des zukünftigen β an die Ziel-Kapitalstruktur durch relevering |

Tabelle 1: Abschätzung der Parameter in der Praxis zur Ermittlung der Kapitalkosten

Allein bei der eher „einfach“ zu ermittelnden und unternehmensunabhängigen Marktrisikoprämie ($\mu_M - r_0$) differieren die getroffenen Annahmen deutscher Unternehmen im Jahr 2016 von kleiner als 5% bis größer als 7,5%, wie in

Abbildung 4 deutlich wird. Bei der Bestimmung des risikofreien Zinssatzes wird die Prämisse der Unternehmensfortführung unterstellt, so dass ein möglichst langfristiger Zinssatz angenommen wird. Die Auswahl der Laufzeit liegt jedoch in der Entscheidungshoheit des Unternehmens, ebenso wie die Abschätzung der erwarteten Marktrendite. Da diese Auslegungsspielräume für einen Großteil der zugrunde zulegenden Annahmen gelten, wird deutlich, dass die getroffenen Annahmen maßgeblichen Einfluss auf die Höhe der Kapitalkosten haben.

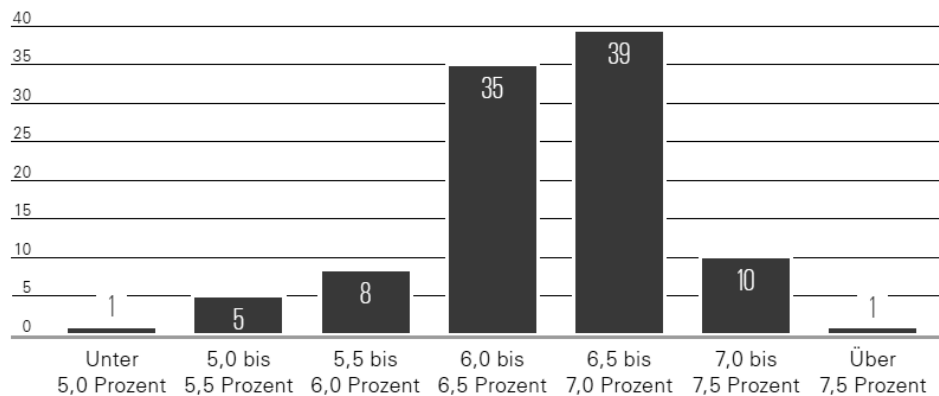


Abbildung 4: Verteilung der angesetzten Marktrisikoprämien deutscher Unternehmen, Angaben in %¹⁷

Unabhängig von den sehr restriktiven Modellannahmen, die auf realen Märkten nicht vorliegen, ist ein großes Problem bei der Übertragung des Modells das mangelnde Vorhandensein von Marktwerten für die Kapitalkomponenten. Bei nicht-börsennotierten Unternehmen gilt dies sowohl für das Eigen- als auch das Fremdkapital. Notwendige Voraussetzung für die Anwendbarkeit ist daher aus Sicht der Verfasserin die Börsennotierung des Unternehmens, um historische Betas und Marktwerte (wenigstens) für das Eigenkapital ableiten zu können. Selbst die Notierung in kleineren Indizes ist im Rahmen der Kapitalkostenermittlung schwierig.

Liegt keine Börsennotierung vor, was für den Großteil deutscher Unternehmen gilt, weicht man bei Unternehmensbewertungen in der Regel auf Vergleichsunternehmen (Peer Groups) aus. Unterstellt wird somit, dass die einbezogenen Vergleichsunternehmen eine ähnliche Risikostruktur wie das betrachtete Unternehmen haben. Die Problematik dieser durchaus sinnvollen Annahme soll exemplarisch bei der Wahl einer Peer Group für die Daimler AG veranschaulicht werden. Zählen deutsche Automobilhersteller wie die BMW AG oder VW AG zu der Peer Group der Daimler AG, wenngleich beide Konzerne neben dem klassischen PKW-Geschäft unterschiedlich aufgestellt sind? Welches Unternehmen würde darüber hinaus als Vergleichsunternehmen hinzugezogen werden können?

Die Diskussion zeigt auf, dass das CAPM und somit auch der Ansatz der WACC nur schwer in der Praxis angewendet werden können. Wichtig ist vor allem die zugrundeliegende Idee der Kompensation von Risiken im Rahmen der erwarteten Rendite.

¹⁷ KPMG (2017), Kapitalkostenstudie 2016, S. 28, Abbildung 27. Basis der empirischen Untersuchung waren 196 Unternehmen in Deutschland, Österreich und der Schweiz, davon 148 aus Deutschland. <https://home.kpmg.com/de/de/home/themen/2016/11/kapitalkostenstudie-2016.html>, abgerufen am 08.08.2017.

Inwieweit diese Voraussetzungen für die DB Netz AG gegeben sind, soll unter Punkt 3 analysiert werden.

3. Anwendbarkeit auf die DB Netz AG

Die DB Netz AG ist als 100%-ige Tochtergesellschaft der Deutschen Bahn AG verantwortlich für die Bereitstellung einer intakten Schieneninfrastruktur. Nach eigenen Angaben umfasst das Streckennetz rund 33.300 Kilometer mit durchschnittlich 2,9 Mio. Trassenkilometern pro Tag.¹⁸ Alleiniger Eigentümer, der nicht börsennotierten Aktiengesellschaft, ist die Bundesrepublik Deutschland (Bund).

Diese aktuelle Eigentümerstruktur führt zu dem Hauptkritikpunkt, inwieweit das CAPM zur Ermittlung der Eigenkapitalkosten Anwendung finden kann. Zu der Anwendbarkeit des CAPM's existiert bereits eine Reihe von Gutachten, die sowohl von der Deutsche Bahn AG als auch der Bundesnetzagentur in Auftrag gegeben wurden.¹⁹ Hauptdiskussionspunkte sind das bestehende Risikoprofil der DB Netz AG als auch die Wahl der „richtigen“ Peer Group anderer börsennotierter Unternehmen. Diese gestaltet sich schwierig aufgrund der Einzigartigkeit der DB Netz AG. Ziel der Peer Group-Bildung ist die Abschätzung des unternehmensspezifischen Betas auf Basis historischer β -Werte von Vergleichsunternehmen. Die Eigenkapitalgeber sollen also ähnlichen Markt- und Ausfallrisiken ausgesetzt sein. Durch die regulatorische Einbindung in ein staatliches System besteht für die DB Netz AG eine „implizite Staatsgarantie“. Diese resultiert aus der derzeit bestehenden grundgesetzlichen Privatisierungssperre ebenso wie der Verpflichtung des Bundes die Infrastruktur bereitzustellen. Marktwirtschaftliche Investitionsrisiken trägt somit in der Konsequenz der Steuerzahler. Gleiches gilt für potentielle Ausfallrisiken, da die Eisenbahninfrastruktur einem gesetzlichen Insolvenzschutz unterliegt.

Darüber hinaus sind die nachfolgenden Besonderheiten der DB Bahn AG zu beachten:

- Der Großteil der Investitionen in die Infrastruktur, teilweise gesetzlich und teilweise vertraglich abgesichert, ist vom Bund finanziert.
- Zwei Drittel der Erlöse (SPNV) der DB Netz AG sind langfristig durch Beauftragungen der Länder abgesichert.
- Die Verwendung aller anfallenden Gewinne ist vertraglich festgelegt.²⁰

Analysiert man die Vergleichsunternehmen vor dem Hintergrund diese Besonderheiten, stellt man fest, dass weltweit keine vergleichbaren Wettbewerber existieren. Zwar gibt es

¹⁸ Vgl. <http://www.deutschebahn.com/de/geschaefte/infrastruktur/netz.html>, abgerufen am 09.08.2017.

¹⁹ Vgl. bspw. Frontier economics, IGES (2016) Gutachten zur Bestimmung der Kapitalkosten für Eisenbahninfrastrukturunternehmen unter den besonderen Bedingungen des deutschen Eisenbahnsektors 2. Aktualisierung.

²⁰ BALKS, MARITA / BÖTTGER, CHRISTIAN (2017): Kapitalkosten der DB Netz AG. In: Privatbahn-Magazin, S. 66-68.

Unternehmen mit ähnlichen Aufgaben im Rahmen der Bereitstellung einer intakten Schieneninfrastruktur. Die mit diesem Sachziel verbundenen Risiken differieren so stark, dass sogar fraglich ist, welchen Risiken Eigen- und Fremdkapitalgeber durch die skizzierten Besonderheiten überhaupt ausgesetzt sind. Eine Anwendung des CAPM's erscheint vor diesem Hintergrund nicht sachgerecht, bzw. würde zu einem β von Null oder nahe Null führen. Der kapitalmarktübliche Eigenkapitalzinssatz wäre somit nahe dem Fremdkapitalzinssatz, was dem Risiko deutlich realistischer entsprechen würde. Sowohl die DB Netz AG als auch die BNetzA argumentieren, dass sich die CAPM-Methodik aus dem ERegG ergeben würde. Hier ist allerdings nur von einer kapitalmarktüblichen Verzinsung die Rede, die Auslegungsvarianten zulässt.²¹ Ratingagenturen überprüfen bspw. im Rahmen ihrer Risikoeinschätzung die Verflechtung von Unternehmen zum Staat und leiten daraus eine Bewertung ab.

Neben der Frage der grundsätzlichen Anwendbarkeit des CAPM's gibt es bezüglich der anzuwendenden Parameter noch eine Bandbreite von Kritikpunkten bzgl. der beantragten Kapitalkosten der DB Netz AG, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind und auf deren wichtigsten nachfolgend eingegangen werden soll.

WACC vor Steuern:

Die DB AG hat im Rahmen des Entgeltenehmungsverfahrens einen Kapitalkostensatz von 7,5% vor Steuern angesetzt. Da die Berechnung für Hinzugezogene geschwärzt ist, können die einzelnen Parameter der WACC nicht nachvollzogen werden. Im Vergleich zu dem im Jahresabschluss für die DB Netz AG berechneten Kapitalkostensatz von 6,7% wird jedoch eine Differenz deutlich. Diese begründet die DB AG mit dem Wunsch der Verzinsung des eingesetzten Kapitals mit 7,5 %, um unternehmensinterne Ziele zu erreichen. Rechtliche Grundlage für die Ermittlung der Eigen- und Fremdkapitalkosten ist die Vorschrift des § 80 Abs. 5 S. 2 ERegG. Demzufolge sollen der DB Netz AG die Kosten vergütet werden, die bei der Bereitstellung der Pflichtleistungen und den damit verbundenen Leistungen entstehen (würden). Die Kapitalgeber sollen somit eine Rendite erhalten, die am Markt erzielt werden könnte und risikoadäquat ist. Diese würde nach Berechnung der DB AG in Höhe der im Jahresabschluss berechneten 6,7 % liegen.²²

²¹ Vgl. bspw. IGES (2016) Auswirkung der rechtlichen Stellung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen des Bundes auf die Verzinsung des Eigenkapitals sowie die dort angegebene Literatur, S. 7 f.

²² BNetzA, 2017, BK10-16-0008_E, vom 06.02.2017, S. 36.

| Parameter | Antrag DB Netz AG 04.04.2017 | WACC DB Netz AG Konzernabschluss S. 113 | |
|-------------------------|--|---|---|
| Risikoloser Zins | | 2,00% | Überhöhte Ansätze, IDW realitätsnähere Ansätze |
| Credit Spread | | 0,80% | |
| Marktrisikoprämie | Keine Herleitung der Kapitalkosten, Forderung abgeleitet aus "Ziel-ROCE" | 6,00% | Abhängig vom gewählten Marktportfolio, eher hoch |
| Kapitalstruktur | | 64,9 % EK, 27,7 % FK, 7,5 % Pensionsverpfl. | EK-Anteil zu hoch, Gewichtung erfolgt lt. GB 2016 marktwertorientiert, Berechnung nicht nachvollziehbar |
| unverschuldetes β | | 0,49 | Zu hoch |
| Steuersatz | | 30,5 % (rückgerechnet) | Ist-Steuersatz der letzten Jahre ca. 2 % |
| WACC vor Steuern | 7,50% | 6,70% | 7,5% als Zielrendite des Konzerns |

Tabelle 2: Einschätzung der seitens der DB Netz AG beantragten Parameter sowie der WACC Berechnung im Konzernabschluss – eigene Darstellung²³

Risikofreier Zinssatz:

Ausgangspunkt für die Verzinsung beider Kapitalkomponenten ist der risikofreie Zinssatz r_0 . Für die Berechnung des risikolosen Zinssatzes gibt es keine Vorgabe, es findet jedoch eine Orientierung auf Basis der Zinsstrukturkurve statt. Bezieht man die bereits zitierte Kapitalkostenstudie von KPMG ein, lag zum Jahresende der durchschnittlich angesetzte risikofreie Zinssatz börsennotierter Unternehmen im deutschsprachigen Raum bei 1,5 %²⁴. Die Bundesnetzagentur legt die risikofreie Verzinsung bei 2,6 % fest, basierend auf Umlaufrenditen von Bundesanleihen beginnend mit dem 31.12.2015 in die Vergangenheit mit einer Restlaufzeit von 10 Jahren. Dies ist möglich, ökonomisch jedoch vor dem Hintergrund der rechtlichen Grundlage fraglich, da die historische Durchschnittsbildung nicht den entstehenden Kosten innerhalb der Regulierungsperiode entspricht. Da im Rahmen der Regulierungsperiode auch Inflationsbereinigungen stattfinden sollen, ist die Nicht-Zugrundelegung aktueller Marktdaten nur schwer nachvollziehbar. „Aus Sicht der

²³ Daten basierend auf Mitteilungsschreiben vom 04.04.2017, BK 10-17-0001 E, Mitteilung des -Ausgangsniveaus der Gesamtkosten nach § 25 ERegG, S. 42, DB AG Konzernabschluss („Integrierter Bericht“) 2016, S. 113, β unlevered=0,67 auf Basis der seitens der DB unterstellten Kapitalstruktur, VG = 0,528.

²⁴ KPMG (2017), Kapitalkostenstudie 2016, S. 28, Abbildung 27. Basis der empirischen Untersuchung waren 196 Unternehmen in Deutschland, Österreich und der Schweiz, davon 148 aus Deutschland. <https://home.kpmg.com/de/de/home/themen/2016/11/kapitalkostenstudie-2016.html>, abgerufen am 08.08.2017.

Beschlusskammer bietet der festgelegte Zinssatz die Gewähr dafür, die Höhe des marktüblichen Zinssatzes möglichst genau zu treffen²⁵.

Credit Spreads:

Gleiches gilt für die Wagniszuschläge der DB Netz AG, die mit 80 Basispunkten deutlich überhöht erscheinen. Im Jahresabschluss der DB AG werden langlaufende Anleihenemissionen der DB Finance mit einem Gesamtwert von 2,1 Mrd. € aufgeführt. Der Kupon einer 10-jährigen Anleihe (ISINXS1372911690) lag bspw. bei 0,75 %, also deutlich unter dem angesetzten Fremdkapitalkostensatz.²⁶ Dieser Zinssatz reflektiert das geringe Ausfallrisiko der DB AG bedingt durch die Staatsgarantien.

Ist-Steuersatz:

Zur internationalen Vergleichbarkeit werden die Kapitalkosten üblicherweise vor Steuern ausgewiesen. Eigenkapitelkosten sind somit unter Berücksichtigung des durchschnittlich gezahlten Steuersatzes anzupassen, um den Vor-Steuer-WACC zu berechnen. Der Ausweis des Ist-Steuersatzes findet sich normalerweise im Jahresabschluss, bei der DB AG findet sich nur der Nominal-Steuersatz von 30,5% im Rahmen der WACC-Berechnung. Bedingt durch hohe Verlustvorträge aus der Zeit nach der Bahnreform, liegt der Ist-Ertragssteuersatz der DB Netz AG, als Teil der steuerlichen Organschaft der DB AG in Deutschland, in den letzten zehn Jahren bei ca. 2 %. Da die DB AG weiterhin über sehr hohe Verlustvorträge verfügt, ist davon auszugehen, dass auch in den kommenden Jahren der Regulierungsperiode keine höheren Ist-Steuersätze zur Anwendung kommen werden. Als Konsequenz werden die der Trassenbepreisung zugrundeliegenden Kosten deutlich überhöht ausgewiesen.

Unternehmensspezifisches β :

Die Diskussion der Anwendbarkeit des CAPM's wurde bereits ausführlich dargelegt. Die DB AG weist in ihrem Jahresabschluss ein unverschuldetes β von 0,49 aus. Unter Zugrundelegung der angegebenen Kapitalstruktur würde dies zu einem relevered β von 1,07 führen. Die risikoadäquate erwartete Rendite der Eigenkapitalgeber der DB Netz AG entspräche somit in etwa der der börsennotierten Bayer AG, was wiederum in zu hohen Kapitalkosten mündet.

Basierend auf den dargelegten Kritikpunkten und Abschätzung aktueller Marktdaten haben Balks und Böttger im Rahmen des Gutachtens zur Einschätzung der Kapitalkosten für den NEE zwei alternative Berechnungen vorgelegt, die nachfolgend in ihren Auswirkungen darstellt wird. Abstrahiert man von der Zugrundelegung des CAPM's und setzt den Eigenkapitalkostensatz mit den Fremdkapitalkosten gleich, würden die WACC's auf 1,62 % sinken. Würde man alternativ bei der Anwendung des CAPM's bleiben, und nur die einzubeziehenden Parameter anpassen, reduziert sich der WACC auf 3,18%.

²⁵ BNetzA (2017), BK 10-17-0001_Beschluss, S. 60.

²⁶ Vgl. Deutsche Bahn AG, Konzernjahresabschluss 2016, S. 111.

| Parameter | Antrag DB Netz AG 04.04.2017 | WACC DB Netz AG Konzernabschluss S. 113 | Ansatz $r_{EK} = r_{FK}$ Balks/Böttger | CAPM-Berechnung Balks/Böttger |
|-------------------------|---|--|--|--|
| Risikoloser Zins | | 2,00% | 1,00% | 1,00% |
| Credit Spread | | 0,80% | 0,61% | 0,61% |
| Markttrisikoprämie | Keine Herleitung der Kapitalkosten, Forderung abgeleitet aus "Ziel- ROCE" | 6,00% | nicht relevant, da $r_{EK} = r_{FK}$ | 3,80% |
| Kapitalstruktur | | 64,9 % EK, 27,7 % FK, 7,5 % Pensionsverpfl. | 57 % FK, 43 % EK - \emptyset aus Bilanzwerten 2014 - 2016, nur zinstragend | 57 % FK, 43 % EK - \emptyset aus Bilanzwerten 2014 - 2016, nur zinstragend |
| unverschuldetes β | | 0,49 | nicht relevant, da $r_{EK} = r_{FK}$ | 0,4 |
| Steuersatz | | 30,5 % (rückgerechnet) | 2,00% | 2,00% |
| WACC vor Steuern | | 7,50% | 6,70% | 1,62% |

Tabelle 3: Alternative Berechnung der WACC im Vergleich zur Einschätzung der seitens der DB Netz AG beantragten Parameter sowie der WACC-Berechnung im Konzernabschluss – eigene Darstellung

4. Einschätzung der Ergebnisse

Die Bundesnetzagentur tritt mit der Umsetzung der europäischen Richtlinie 2012/34/EU regulatorisches „Neuland“. Hauptziel des ERegG's ist die Anreizsetzung zur Verlagerung eines größeren Teils des gesamten Verkehrsaufkommens auf den schienengebundenen Personen- und Güterverkehr. Ein Hauptparameter ist der zugrundeliegende Trassenpreis, in den die Kapitalkosten als eine der größeren Kostenbestandteile einfließen.

Mit Feststellung zum 28.06.2017 hat die Bundesnetzagentur den WACC für die Regulierungsperiode 2019 bis 2023 auf 5,9 % festgelegt, differenziert nach einem Eigenkapitalkostensatz von 9,5% und einem Fremdkapitalkostensatz von 3,2%. €²⁷. Dass diese Festlegung nicht trivial ist, hat die Diskussion im Vorfeld sowohl der Gesetzesdiskussion als auch des Anhörungsverfahrens gezeigt. Schwer nachzuvollziehen ist

²⁷ BNetzA (2017), BK 10-17-0001_Beschluss, S. 54–73.

allerdings die konsequente Anwendung des CAPM's zur Ableitung der Eigenkapitalkosten vor dem Hintergrund der unternehmensspezifischen Besonderheiten der DB Netz AG sowie der empirisch kaum zu validierenden Anwendbarkeit des Gleichgewichtsmodells. Kapitalgeber sollen in Abhängigkeit ihrer Rechtsstellung eine erwartete risikoadäquate Verzinsung erhalten, dieses Ziel scheint nicht erreicht.

Allgemein lässt sich kritisieren, dass durch die zugrunde gelegte WACC-Berechnung eine „Scheingenauigkeit“ entsteht, da die festgelegten Parameter auf „ungenauen Annahmen“ basieren und die Spezifika der DB Netz AG ein objektives Einschätzen der Unsicherheiten erschweren. Bei einer Vielzahl von Regulierungen kann im Rahmen der Neueinführung von zukünftigen Erkenntnisgewinnen auf der Basis gewonnener Daten, ausgegangen werden. Im Rahmen der Kapitalkostenberechnung, deren Probleme seit Jahrzehnten bekannt sind, ist diese Entwicklung nur schwer vorstellbar. Die Chance der deutlichen Kostensenkung wurde seitens der Bundesnetzagentur bisher unzureichend genutzt. Diese stellt sicherlich eine Herausforderung in den nächsten Jahren dar.

Literatur:

- Balks, Marita/Böttger, Christian (2017) Gutachten zu dem Ansatz der Kapitalkosten durch die DB Netz AG im Entgeltgenehmigungsverfahren BK10-17-0001_E, erstellt im Auftrag des Netzwerkes Europäischer Eisenbahnen e.V., Berlin.
- Balks, Marita/Böttger, Christian (2017) Kapitalkosten der DB Netz AG. In: Privatbahn-Magazin, S. 66-68.
- Ballwieser, Wolfgang/Hachmeister, Dirk (2013): Unternehmensbewertung, 4. Aufl., S. 101f.
- Beckers, Thorsten/Klatt, Jan Peter (2009) Zeitliche Homogenisierung und Berücksichtigung von Risiko im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, S. 20 f.
- Brealey, Richard A./Myers, Stewart C./Allen, Franklin (2016) Principles of Corporate Finance, 12th. ed.
- BNetzA, Bundesnetzagentur (2016), BK10-16-0008_E, vom 06.02.2017.
- BNetzA, Bundesnetzagentur (2017) Mitteilungsschreiben vom 04.04.2017, BK 10-17-0001 E, Mitteilung des Ausgangsniveaus der Gesamtkosten nach § 25 ERegG.
- BNetzA, Bundesnetzagentur (2017) BK 10-17-0001_Beschluss vom 28.06.2017. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/1BK-Geschaeftszeichen-Datenbank/BK10-GZ/2017/2017_0001bis0999/2017_0001bis0099/BK10-17-0001/BK10-17-0001_E_Beschluss.html;jsessionid=EFB21A76047CB3EA3FD273DCBADDFA7B?nn=269902.
- Deutsche Bahn AG (2017) Konzernabschluss 2016.

- Deutsche Bahn AG (2017)
<http://www.deutschebahn.com/de/geschaefte/infrastruktur/netz.html>.
- Deutsche Börse (2017) <https://www.dax-indices.com/index-details?isin=DE0008469008>.
- ERegG, Eisenbahnregulierungsgesetz vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2082).
- Franke, Günter/Hax, Herbert (2009) Finanzwirtschaft des Unternehmens und Kapitalmarkt, 6. ü.a. Aufl.
- Frontier Economics, IGES (2016) Gutachten zur Bestimmung der Kapitalkosten für Eisenbahninfrastrukturunternehmen unter den besonderen Bedingungen des deutschen Eisenbahnsektors 2. Aktualisierung.
- IDW S1, Grundsätze zur Durchführung von Unternehmensbewertungen, Stand: 02.04.2008.
- IGES (2016) Auswirkung der rechtlichen Stellung der Eisenbahninfrastrukturunternehmens des Bundes auf die Verzinsung des Eigenkapitals.
- KPMG (2017), Kapitalkostenstudie 2016,
<https://home.kpmg.com/de/de/home/themen/2016/11/kapitalkostenstudie-2016.html>.
- Kruschwitz, Lutz/Löffler, Andreas/Essler, Wolfgang (2009): Unternehmensbewertung für die Praxis. Fragen und Antworten.
- Marktreport SPNV (2015/2016) Ein Lagebericht zum Schienenpersonennahverkehr in Deutschland.
- Modigliani, Franco/Miller, Merton (1958) The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment. American Economic Review, 48 (3), S. 261-297.
- Modigliani, Franco/Miller, Merton (1963) Corporate Income Taxes and the Cost of Capital: A Correction, American Economic Review, 53 (3), S. 433-443.
- Neus, Werner (2015) Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 9. Aufl.
<http://www.finanzen.net/charttool>

Kommentar zu dem Beitrag: Abschätzung der Kapitalkosten im Rahmen des Eisenbahnregulierungsgesetzes (von Marita Balks)*

VON KARL-HANS HARTWIG

Nach dem neuen Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG) vom 29. August 2016 ist für die Festlegung der Trassenpreise ein Entgeltregulierungsverfahren durch die Bundesnetzagentur zur Bestimmung der Gesamtkosten für die Netzbetreiber durchzuführen. Die Gesamtkosten umfassen die Kapitalkosten, die Abschreibungen und die Betriebskosten. Sie werden mit Hilfe von historischen Durchschnittswerten vergangener Basisjahre ermittelt und bilden das Ausgangsniveau für die folgende Regulierungsperiode. Die Bundesnetzagentur hat im April 2017 das Verfahren zur Entgeltregulierung für die Periode 2019 bis 2023 eröffnet und – ebenso wie die DB Netz AG – ihre Berechnungen für die Gesamtkosten auf Basis der Jahre 2014 bis 2016 vorgelegt.

Für die Kapitalkosten geben §80 Abs. 5, S. 2 und die Anlage 4 Ziffer 5 des ERegG eine kapitalmarktübliche Verzinsung des eingesetzten Kapitals vor, die üblicherweise mit Hilfe des WACC-Ansatzes (Weighted Average Cost of Capital) berechnet wird und das Verhältnis von Eigen- und Fremdkapital sowie deren risikoadäquate Verzinsung berücksichtigt. Dabei wird der Eigenkapitalzins nach dem CAPM (Capital Asset Pricing Modell) aus dem Zinssatz einer risikolosen Kapitalanlage und der Differenz zwischen der Marktrendite und der Rendite der risikolosen Kapitalanlage ermittelt. Diese Differenz bezeichnet das systematische Risiko und wird mit einem Faktor Beta gewichtet, der das nicht diversifizierbare Risiko des betreffenden Unternehmens im Vergleich zum Marktrisiko schätzt. Der Fremdkapitalzins besteht aus dem risikolosen Zins und einem

* Die Qualitätsprüfung / -sicherung des Beitrags „Abschätzung der Kapitalkosten im Rahmen des Eisenbahnregulierungsgesetzes“ von Marita Balks erfolgte gemäß dem auf der Homepage der Zeitschrift für Verkehrswissenschaft dargestellten (Alternativ-)Ansatz zur transparenten Qualitätsprüfung und -diskussion (siehe www.z-f-v.de → „Einreichung von Beiträgen und Begutachtung / Qualitätsprüfung“). Dabei wird von einem fachkundigen Wissenschaftler eine zustimmende Stellungnahme zur Veröffentlichung des Beitrags eingeholt und zusammen mit dem Beitrag veröffentlicht.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Karl-Hans Hartwig
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Institut für Verkehrswissenschaft
Am Stadtgraben 9
48165 Münster
E-Mail: 10kaha@wiwi.uni-muenster.de

Wagnisaufschlag, den die Fremdkapitalgeber in Abhängigkeit von der Bonität des Kreditnehmers verlangen. Die Bundesnetzagentur veranschlagt den WACC für die Netzbetreiber auf 5,9% vor Steuern, die DB Netz AG ermittelt in ihrem Konzernabschluss für das Jahr 2016 einen Zinssatz von 6,7% und kalkuliert in ihrem Mitteilungsschreiben vom 04.04.2017 zum Entgeltgenehmigungsverfahren eine nicht weiter spezifizierte „Zielrendite“ von 7,5%.

Der auf einem gemeinsam mit Christian Böttger angefertigten Gutachten im Auftrag des Netzwerkes Europäischer Eisenbahnen e.V. beruhende Beitrag von Marita Balks beschäftigt sich vor diesem Hintergrund sowohl mit der prinzipiellen Anwendbarkeit von WACC-Ansatz und CAPM für die Bestimmung der Kapitalkosten der deutschen Schienennetzbetreiber als auch mit den konkreten Berechnungen der Eigen- und Fremdkapitalzinsen durch DB Netz-AG. Dabei verdeutlicht sie im Anschluss an eine kurze Darstellung des CAPM, dass dessen bekannte Probleme der restriktiven Anwendungsvoraussetzungen und geringen empirischen Evidenz sich bei der Ermittlung einer risikobehafteten Eigenkapitalrendite und für die DB Netz AG und damit auch für die Anwendung des WACC noch verschärfen. So erfordert das CAPM eigentlich Marktwerte von börsennotierten Unternehmen, zu denen die DB Netz AG als 100%ige Tochtergesellschaft der nicht-börsennotierten Deutsch Bahn AG nicht gehört.

Aber auch die bei der Ermittlung von Kapitalkosten in solchen Fällen weltweit praktizierte Heranziehung der Betas börsennotierter Vergleichsunternehmen mit einer ähnlichen Risikostruktur ist mit erheblichen Problemen behaftet. Erstens unterliegt die DB Netz AG institutionell bedingten unternehmensspezifischen Besonderheiten, die sich in anderen Infrastrukturunternehmen kaum finden lassen und daher eine konsequente Anwendung des CAPM verhindern, wie das grundgesetzliche Privatisierungsverbot für das Schienennetz sowie dessen gesetzlicher Schutz vor Insolvenz und die Verpflichtung der Infrastrukturbreitstellung durch den Bund. Zweitens eröffnen sich mit der Heranziehung von Vergleichsunternehmen erhebliche Interpretationsspielräume. Das betrifft sowohl die Vergleichsunternehmen selbst als auch die Auswahl der für die Berechnung relevanten Variablen und deren jeweilige Ausprägungen, was zu erheblichen Bandbreiten für die ermittelten WACC-Werte führen kann. Dies zeigen denn auch die entsprechenden Gutachten zur Bestimmung der Kapitalkosten für die Bundesnetzagentur und die DB Netz AG. Da sie die institutionell bedingten Besonderheiten des Unternehmens nicht berücksichtigen, kommen beide, insbesondere aber die DB Netz AG, nach Ansicht der Verfasserin durch die unangemessene Anwendung des CAPM und entsprechende Auslegungen seiner Komponenten zu überhöhten Diskontierungssätzen. Um dies zu verdeutlichen, verweist sie auf zwei eigene Schätzungen, von denen eine auf die Anwendung des CAPM verzichtet und die andere – dann doch etwas überraschend – das CAPM zugrunde legt. Beide ergeben deutlich geringere WACC-Werte und unterstützen damit das Primärziel des ERegG, durch niedrige Trassenpreise deutlich mehr Verkehre auf die Schiene zu verlagern.

Die Ausführungen von Martina Balks sind nachvollziehbar, plausibel und von hoher Aktualität. Sie dürften die Diskussion über die Ermittlung der Kapitalkosten von

Verkehrsinfrastrukturen erheblich bereichern. Es stellt sich jedoch die Frage, ob ihre Ablehnung des CAPM für die Ermittlung der Kapitalkosten für das Schienennetz der DB Netz AG aus methodischen Überlegungen und unternehmensspezifischen Besonderheiten gleichbedeutend sein muss mit jeglichem Verzicht auf die Berücksichtigung von systematischem Risiko. Denn dass ein solches Risiko etwa in Form des Verkehrsmengenrisikos für den Infrastrukturbetreiber besteht, ist unbestritten. Das sieht auch die Verfasserin so. Aus ihrer Sicht trägt dieses Risiko der Staat und damit „in der Konsequenz der Steuerzahler“, weil für den Bund beim Schienennetz eine Bereitstellungsverpflichtung besteht. Wohlfahrtsökonomisch betrachtet ist dies allerdings nur sinnvoll, wenn allokatives Marktversagen vorliegt, d.h. wenn mit der Bereitstellung nicht-pekuniäre positive Externalitäten verbunden sind und sich daher die Vorteile für die Nutzer nicht durch eine entsprechende Bepreisung internalisieren lassen. Bei Infrastrukturen trifft dies jedoch nicht zu. Hier handelt es sich um Klubkollektivgüter mit zeitlicher Rivalität im Konsum und zeitweiligen Übernutzungserscheinungen, bei denen die Nutzer aus Effizienzgründen zur Kostendeckung herangezogen werden sollten. Dass dabei auch explizit Risikobestandteile berücksichtigt werden, gehört daher in vielen Ländern bei der Bewertung öffentlicher Maßnahmen zur Praxis, findet sich in der Wegekostenrichtlinie der EU für die Kalkulation der LKW-Maut und wird nahezu durchgängig von öffentlichen Verkehrsunternehmen bei ihrer Preiskalkulation angewendet.

Im Übrigen gibt es mittlerweile Ansätze, risikoadjustierte Zinssätze bei der Bewertung öffentlicher Infrastruktureinrichtungen auch ohne Einsatz des CAPM zu berücksichtigen. So lässt sich das Problem der mangelnden Börsennotierung dadurch umgehen, dass das CAPM durch das CCAPM (Consumption Asset Pricing Model) ersetzt wird.² Hier spielen Aktienrenditen keine Rolle, sondern bildet die Kovarianz zwischen dem Investitionsrisiko und der Wachstumsrate des aggregierten Konsums das systematische Risiko ab. Aktuell liegen dazu erste empirische Schätzungen mit Hilfe von Regressionsfunktionen für die deutschen Fernstraßen und das Schienennetz vor.³ Zudem werden aktuell Verfahren zur Berücksichtigung von Risiko in der Diskontierungsrate von Nutzen-Kosten-Analysen für öffentliche Investitionen diskutiert, die auf die „unkritische Übernahme von Verfahren aus der privaten Investitionsrechnung“ verzichten können.⁴ All dies zeigt, dass die Berücksichtigung von systematischem Risiko auch für die Bewertung von öffentlichen Investitionsprojekten und die Bepreisung der Verkehrsinfrastruktur eine wichtige Rolle spielen sollte.

² Vgl. M.L. Weitzman: Rare disasters, tail-hedged investments, and risk-adjusted discount rates, in: NBER Working Paper Series, 18496.

³ Vgl. K. Goldmann: Time-declining risk-adjusted social discount rates for transport infrastructure planning, in: Estimating risk-adjusted discount rates for public transport infrastructure planning, in: Transportation, 2017, <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9780-4>.

⁴ Vgl. G. Corneo: Volkswirtschaftliche Bewertung öffentlicher Investitionen, Freie Universität Berlin, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft – Diskussionsbeiträge – Economics, 2015/12.

Literatur

- Corneo, G.: Volkswirtschaftliche Bewertung öffentlicher Investitionen, Freie Universität Berlin, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft – Diskussionsbeiträge – Economics, 2015/12.
- Goldmann, K.: Time-declining risk-adjusted social discount rates for transport infrastructure planning, in: Estimating risk-adjusted discount rates for public transport infrastructure planning, in: Transportation, 2017, <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9780-4>.
- Weitzman, M.L.: Rare disasters, tail-hedged investments, and risk-adjusted discount rates, in: NBER Working Paper Series, 18496.