



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Master-Thesis

Innovationen im Verkehrssektor

Analyse der Bedingungen für erfolgreiche
technologische Neuerungen

Thomas Austermann

21. September 2016

Lehr- und Forschungsgebiet für
Güterverkehrsplanung und Transportlogistik

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Wuppertal, 21. September 2016

.....

Thomas Austermann

Einverständniserklärung

Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit wissenschaftlich interessierten Personen oder Institutionen und im Rahmen von externen Qualitätssicherungsmaßnahmen des Studienganges zur Einsichtnahme zur Verfügung gestellt werden kann. Korrektur- oder Bewertungshinweise in meiner Arbeit dürfen nicht zitiert werden. Sperrfristen werden eingehalten.

Wuppertal, 21. September 2016

.....

Thomas Austermann

Zusammenfassung

Der weltweite Klimawandel ist eine große Herausforderung. Für das Erreichen der nationalen und internationalen Ziele zur Eingrenzung des Klimawandels sind große Anstrengungen nötig, die alle Bereiche des alltäglichen Lebens betreffen. Für eine große Transformation zu einer nachhaltigen Gesellschaft bedarf es großer Veränderungen im Transportsektor. Es wird davon ausgegangen, dass diese Veränderungen mit bestehenden Technologien nicht herbeizuführen sind.

Für Innovationen sind aus der wirtschaftswissenschaftlichen Innovations- und Diffusionstheorie allgemeine Faktoren bekannt, die sich fördernd oder hemmend auf die Verbreitung einer Technologie im Markt auswirken können. In der vorliegenden Arbeit werden diese Faktoren auf vergangene und aktuelle Innovationen im Verkehrssektor angewendet und analysiert. Im Fokus der Betrachtung stehen innovationsbezogene und umweltbezogene Einflussfaktoren, zu denen z. B. die Kompatibilität der Innovation oder die sozio-kulturelle Technikakzeptanz gehören. Es werden neben den vergangenen Innovationen *Magnetschwebbahn Transrapid* und *Containersystem im see- und landgebundenen Güterverkehr* auch die anstehende Innovation *Autonomes Fahren* auf diese Einflussfaktoren untersucht. Die Analyse der Einflussfaktoren für die genannten Innovationen soll zeigen, inwiefern einzelne Einflussfaktoren im Verkehrswesen eine besondere Rolle spielen.

Die individuellen Eigenschaften der einzelnen Innovationen zeugen von den vielschichtigen Zusammenhängen zwischen den Einflussfaktoren, die von den vielen Interessengruppen des Verkehrswesens unterschiedlich wahrgenommen werden. Die Entscheidungen zur Übernahme von Innovationen im Verkehrswesen entsprechen damit komplexen Prozessen, deren zielführende Beeinflussung nur eingeschränkt möglich ist.

Abstract

Global climate change is a major challenge. For the achievement of national and international targets for limiting climate change a major effort is needed, which applies to all fields of everyday life. The transformation to a sustainable society will require significant changes in the transport sector. It must be assumed that existing technologies are barely sufficient to induce a far-reaching change.

The economic theory of innovations and their diffusion have developed general factors which may affect the spread of technology in the market. In this paper these factors are applied to past and current innovations in the transport sector. It focuses on innovation-related and environment-related factors, which include i. e. the compatibility or the social-cultural acceptance of a given technology. There are three innovations considered regarding these factors: In addition to the German magnetic levitation train *Transrapid* and the *container system in sea- and land-locked transportation* the paper concentrates on *autonomous driving*. Those case studies demonstrate how much importance single factors gain in transportation.

Individual characteristics of each innovation reveal diverse links between the factors of influence which are perceived differently by the many stakeholders in transportation. Decisions concerning the adoption of innovations in the transport sector thus correspond complex processes whose goal-oriented manipulation is limited.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2	Aufbau	2
2	Herausforderung Verkehr	3
2.1	Kennzahlen des Verkehrs	3
2.2	Verkehr in Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft	5
2.3	Verkehr im Kontext aktueller Herausforderungen	6
3	Innovationen in der Verkehrsgeschichte	9
4	Innovations- und Diffusionstheorie	13
4.1	Innovationsverständnis	13
4.2	Innovationsprozesse und -auslöser	16
4.3	Diffusion von Innovationen	17
4.4	Einflussgrößen des Innovationserfolgs	19
5	Untersuchungsmethodik und Auswahl der Fallstudien	23
6	Magnetschwebbahn Transrapid	26
6.1	Bestimmung des Adoptionssubjektes	27
6.2	Untersuchung der Einflussfaktoren	28
6.2.1	Innovationsspezifische Faktoren	28
6.2.2	Umweltbezogene Faktoren	35
6.3	Abwägung und Besonderheiten	38
7	Container im See- und Landverkehr	41
7.1	Bestimmung des Adoptionssubjektes	43
7.2	Untersuchung der Einflussfaktoren	43
7.2.1	Innovationsspezifische Merkmale	43
7.2.2	Umweltbezogene Faktoren	49
7.3	Abwägung und Besonderheiten	52

8	Autonomes Fahren	56
8.1	Bestimmung des Adoptionssubjektes	60
8.2	Untersuchung der Einflussfaktoren	60
8.2.1	Innovationsspezifische Faktoren	60
8.2.2	Umweltbezogene Faktoren	67
8.3	Aspekte der gewerblichen Nutzung	73
8.3.1	Autonomes Fahren im Güterverkehr	74
8.3.2	Autonomes Fahren im öffentlichen Verkehr	75
8.4	Abwägung und Besonderheiten	76
9	Auswertung der Fallstudien	80
9.1	Erfolgsfaktoren für Innovationen im Verkehrssektor	80
9.1.1	Indikatoren der innovationsspezifischen Faktoren	80
9.1.2	Indikatoren der umweltbezogenen Faktoren	84
9.2	Innovationsmotoren und Innovatoren	85
10	Fazit und Ausblick	88
	Literaturverzeichnis	90
	Abkürzungsverzeichnis	96
	Abbildungsverzeichnis	99
	Tabellenverzeichnis	100
	Anhang A: CD-Rom	A 1

1 Einleitung

Vom Schlitten zum Rad, vom manuellen zum automatischen Antrieb: Die Geschichte des Verkehrswesens wird seit jeher durch kleine und große technische und organisatorische Neuerungen bestimmt. Diese Fortschritte haben unsere Lebensräume und Lebensweisen geprägt. Besonders in den vergangenen 200 Jahren haben Innovationen im Verkehrswesen unsere Mobilität verändert. Zu dieser Veränderung haben jedoch nicht alle Erfindungen und Innovationen beitragen können. Die Geschichte zeugt von vielen erfolgreichen aber auch vergeblichen Versuchen unser Verkehrswesen und unsere Mobilität nachhaltig zu beeinflussen.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Besonders in den letzten Jahren und Jahrzehnten scheint sich das Verkehrswesen nur wenig verändert zu haben. Es hat sich durch immer neue geringfügige Innovationen neuen Ansprüchen angepasst, jedoch nicht grundlegend gewandelt. Der Wunsch nach einem nachhaltigen Verkehrssystem, das den modernen ökonomischen, ökologischen und sozialen Bedürfnissen entspricht, konnte noch nicht erfüllt werden.

Da mit den bestehenden Technologien ein Erreichen der Nachhaltigkeitsziele im Verkehrssektor nicht möglich erscheint, sind Innovationen und vor allem deren erfolgreiche Diffusion notwendig. Um Innovationen erfolgreich im Verkehrssektor etablieren zu können, ist ein grundlegendes Verständnis von Innovationen und deren Diffusion hilfreich.

Diese Arbeit hat das Ziel, Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen für erfolgreiche Innovationen im Verkehrswesen zu ermitteln. Mit den Erkenntnissen dieser

Arbeit sollen die komplexen Abläufe bei der Einführung von Innovationen nachvollzogen werden können, sodass der Wandel zu einem nachhaltigen Verkehrswesen durch Innovationen beschleunigt werden kann.

1.2 Aufbau

In einem Grundlagenteil werden zuerst verkehrliche und wirtschaftswissenschaftliche Grundlagen gelegt (Kapitel 2 bis 4). Wie aus den in Abbildung 1.1 grau hinterlegten Blöcken hervorgeht, wird dazu zunächst auf die *Herausforderung Verkehr* und auf *Innovationen in der Verkehrsgeschichte* eingegangen. In den beiden Kapiteln wird die Bedeutung von Innovationen für den Verkehrssektor verdeutlicht. Das Kapitel zur *Innovations- und Diffusionstheorie* sorgt für ein einheitliches Verständnis relevanter Begriffe und Funktionsweisen.

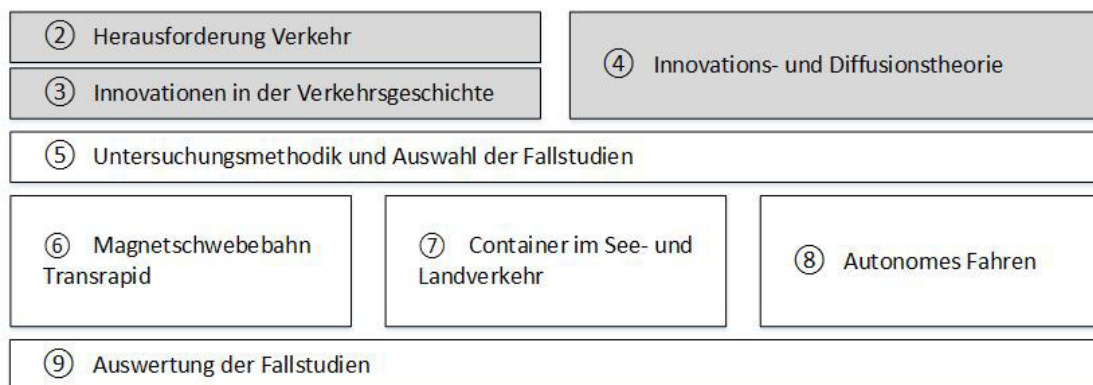


Abbildung 1.1: Gliederung und Aufbau

Vor diesem Hintergrund erfolgt die Darstellung der *Untersuchungsmethodik und Auswahl der Fallstudien*, in denen neben der *Magnetschwebebahn Transrapid* und dem *Container im See- und Landverkehr* auch das *Autonome Fahren* behandelt werden. In der *Auswertung der Fallstudien* werden die in diesen gewonnenen Erkenntnissen zusammengeführt und hinsichtlich des oben genannten Ziels diskutiert.

2 Herausforderung Verkehr

2.1 Kennzahlen des Verkehrs

Zu den wichtigsten Kennzahlen des Verkehrs gehören das **Verkehrsaufkommen** und die **Verkehrsleistung**. Das Verkehrsaufkommen im Personenverkehr im Personenverkehr gibt die Anzahl der beförderten Personen, das Verkehrsaufkommen im Güterverkehr die Summe der transportierten Gütermenge in Tonnen (t) an. Die Verkehrsleistung ist das Produkt des Verkehrsaufkommens und der bei der Beförderung/dem Transport zurückgelegten Strecke. Die Einheit der Verkehrsleistung ist Personenkilometer (pkm) bzw. Tonnenkilometer (tkm) (vgl. Stock und Bernecker 2014).

In Deutschland wurden 2014 über 4,49 Mrd. t transportiert, wobei der mit Abstand größte Teil der Waren auf den Straßen befördert wurde (3,5 Mrd. t). Weder im Schienengüterverkehr, in der (Binnen-)Schifffahrt, im Luftverkehr noch durch Rohrleitungen wurden mehr als 0,5 Mrd. t befördert. Diese Mengen haben sich seit 1991 auch nur wenig verändert. Das Güterverkehrsaufkommen ist insgesamt gegenüber 1991 nur um 0,7 Mrd. t gestiegen, wobei der Transport überwiegend auf der Straße abgewickelt wird. (vgl. Statistisches Bundesamt 2015)

Die Einbeziehung der Transportentfernungen in die Betrachtung zeigt dagegen ein anderes Bild: Die Verkehrsleistung ist im gleichen Zeitraum deutlich gestiegen. Hauptsächlich durch die gestiegenen Transportentfernungen ist die Leistung im Güterverkehr von 398,28 Mrd. tkm (1991) auf über 553,2 Mrd. tkm (2014) gestiegen. Die erbrachte Verkehrsleistung auf der Schiene wurde dabei in einem deutlich geringeren Maße erhöht als die Straßengüterverkehrsleistung. Die Entwicklung zeigt Abbildung 2.1; der deutliche Einbruch der Güterverkehrsleistung

im Jahr 2009 ist auf die Wirtschaftskrise zurückzuführen. (vgl. Statistisches Bundesamt 2015)

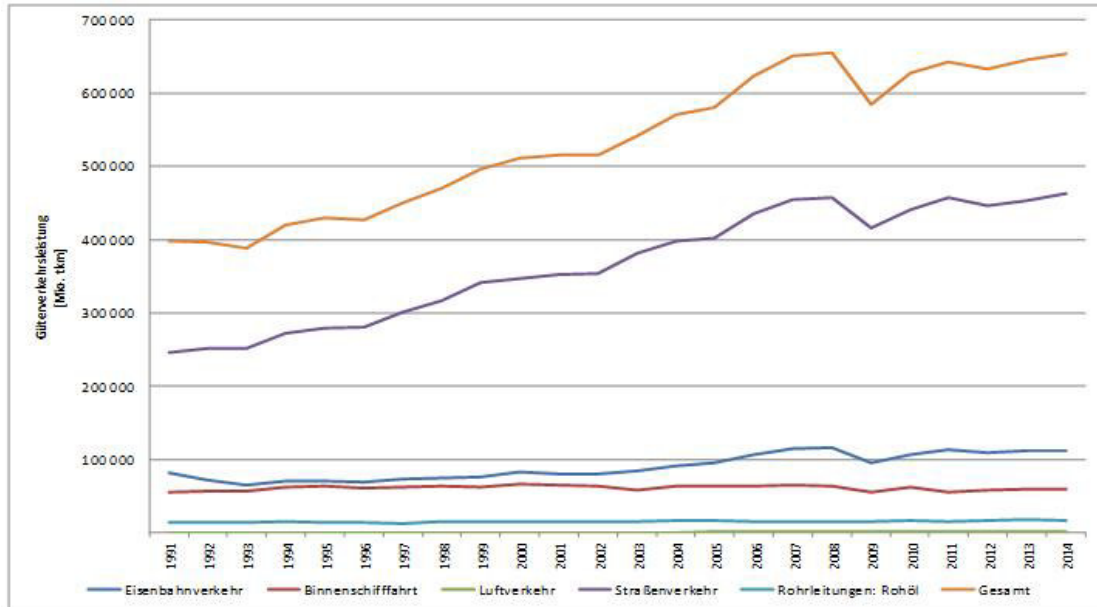


Abbildung 2.1: Entwicklung der Güterverkehrsleistung seit 1991
(Eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt 2015)

Im motorisierten Personenverkehr wird für das Jahr 2014 ein Aufkommen von 71,7 Mrd. beförderten Personen verzeichnet, deren Beförderung zu einer Verkehrsleistung von insgesamt 1.167,9 Mrd. pkm führt. Der Öffentliche Verkehr (ÖV) wird dabei mit 228,49 Mrd. pkm von dem Motorisierten Individualverkehr (MIV) mit 939,4 Mrd. pkm deutlich übertrumpft. Das Personenverkehrsaufkommen und die Personenverkehrsleistung hat sich seit 1991 ohne starke Schwankungen gestiegen. (vgl. Statistisches Bundesamt 2015)

Nach der aktuellen Verkehrsprognose des Bundes für das Jahr 2030 wird sich sowohl das Verkehrsaufkommen als auch die Verkehrsleistung weiter erhöhen. Gegenüber 2010 soll sich das Verkehrsaufkommen im motorisierten Verkehr um 3,8% auf 70,96 Mrd. beförderte Personen erhöhen, während die Verkehrsleistung gegenüber 2010 um 12,9% auf 1261,7 Mrd. pkm steigen wird (vgl. BVU 2014). Zumindest mit Blick auf das Personenverkehrsaufkommen hat die Realität die Prognose bereits überholt. Für den Güterverkehr wird eine Steigerung des Verkehrsaufkommens

auf 4358,4 Mrd. t¹ erwartet. Für dessen Transport wird voraussichtlich eine Verkehrsleistung von 837,6 Mrd. tkm¹ erbracht, die auch auf einer Steigerung der Transportweiten um 17,3% gegenüber 2010 beruht (vgl. BVU 2014).

2.2 Verkehr in Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft

Die Kennzahlen weisen auf die große Bedeutung des Verkehrs sowohl für die Wirtschaft als auch für Umwelt und Gesellschaft hin. Verkehr ist Folge von Arbeitsteilung und Spezialisierung in der Wirtschaft und wird dadurch zu einem unabdingbaren Teil von Wertschöpfungsketten (vgl. Stock und Bernecker 2014, Schulz 2004). Eine Ausweitung der wirtschaftlichen Aktivitäten geht dabei häufig mit einer Zunahme des Verkehrs einher (vgl. Schulz 2004). Diesen Zusammenhang bestätigt auch die in Abbildung 2.2 dargestellte Entwicklung des Bruttoinlandsprodukt (BIP) als Kennzahl der wirtschaftlichen Aktivität und der Güterverkehrsleistung. Jede Veränderung der Wirtschaftsleistung taucht häufig in ausgeprägterer Form auch in der Verkehrsleistungsentwicklung auf.

Auf diese Weise stehen Verkehr und Wirtschaft in einer wechselseitigen Abhängigkeit, wobei die Verkehrsnachfrage u. a. von der räumlichen Verteilung der wirtschaftlichen Aktivitäten, Quantität/Qualität der verfügbaren Verkehrsinfrastruktur, gesetzlichen Regelungen und den Transportpreisen beeinflusst wird (vgl. Aberle 2009).

Die soziale Komponente des Verkehrs liegt vor allem in der Sicherung der gesellschaftlichen Teilhabe, dessen Voraussetzung Mobilität² ist. Zu den sozialen Wirkungen kann auch eine Einschränkung von Handlungsfreiräumen durch Verkehrsunsicherheiten bei starken Verkehrsaufkommen oder Beeinträchtigungen des

¹Die Verkehrsprognose beinhaltet nur das Aufkommen auf Straßen, Schienen und in der Binnenschifffahrt (vgl. BVU 2014).

²Mobilität ist die potenzielle und realisierte Veränderung der Position in einem System (vgl. Reutter 2015). Verkehr umfasst dagegen „die technischen, organisatorischen, informatischen und ökonomischen Maßnahmen, um Personen, Güter und Nachrichten zu befördern“ (Springer Gabler Verlag 2016). Verkehr kann damit Ursache und Wirkung von Mobilität sein.

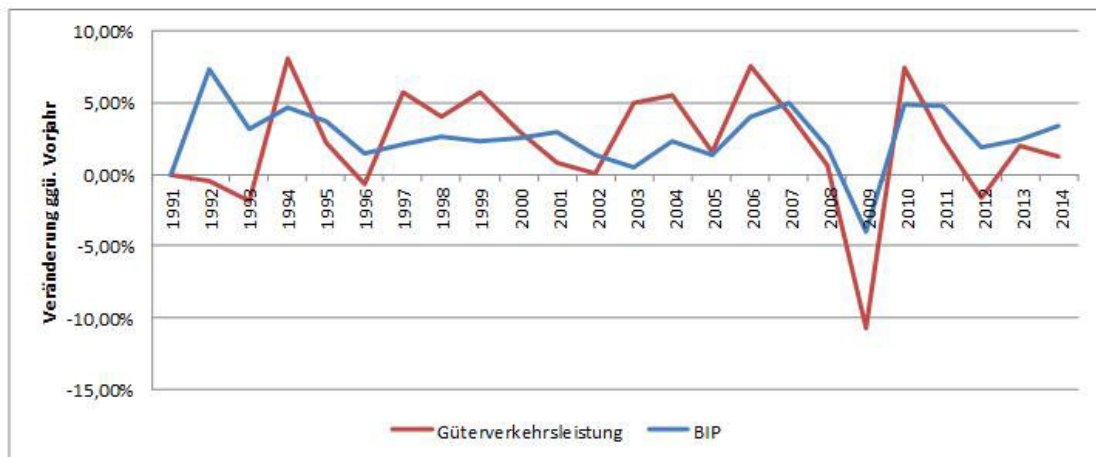


Abbildung 2.2: Veränderung der Güterverkehrsleistung und des BIP gegenüber 1991
(Eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt 2015, 2016)

Wohlbefindens und der Gesundheit zählen. Letztere ist besonders durch *externe Effekte* des Verkehrs (Lärm/Vibration, Luftverschmutzung, Stress, etc.) gefährdet (vgl. Schöller 2007a). Das UBA ermittelte 2010 durch eine Umfrage, dass sich über 55% der Bevölkerung durch Straßenverkehrslärm gestört oder belästigt fühlen (vgl. UBA 2012). Prinzipiell sind Lärm- und Luftemissionen jedoch vornehmlich als ökologische Wirkungen des Verkehrs einzustufen, die indirekt zu sozialen Effekten führen. Vor allem die Auswirkungen von Luftemissionen machen den Verkehrssektor zu einem der Hauptverursacher des Klimawandels.

2.3 Verkehr im Kontext aktueller Herausforderungen

Mit der Umweltbelastung hat der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (WBGU) das kohlenstoffbasierte Weltwirtschaftsmodell mit dessen immer deutlicher werdenden Auswirkungen auf das Klimasystem als zentrale Herausforderung für die heutige Gesellschaft ausgemacht. Er sieht darin eine Bedrohung der Existenzgrundlagen zukünftiger Generationen und for-

dert deshalb mehr Klimaverträglichkeit durch eine *große Transformation*³ zu einer nachhaltigen Gesellschaft (vgl. WBGU 2011). Zur Analyse und Erklärung von großen Transformationen kann das in Abbildung 2.3 dargestellte Mehrebenenmodell von Transformationsprozessen verwendet werden, das im Wesentlichen aus drei Ebenen besteht.

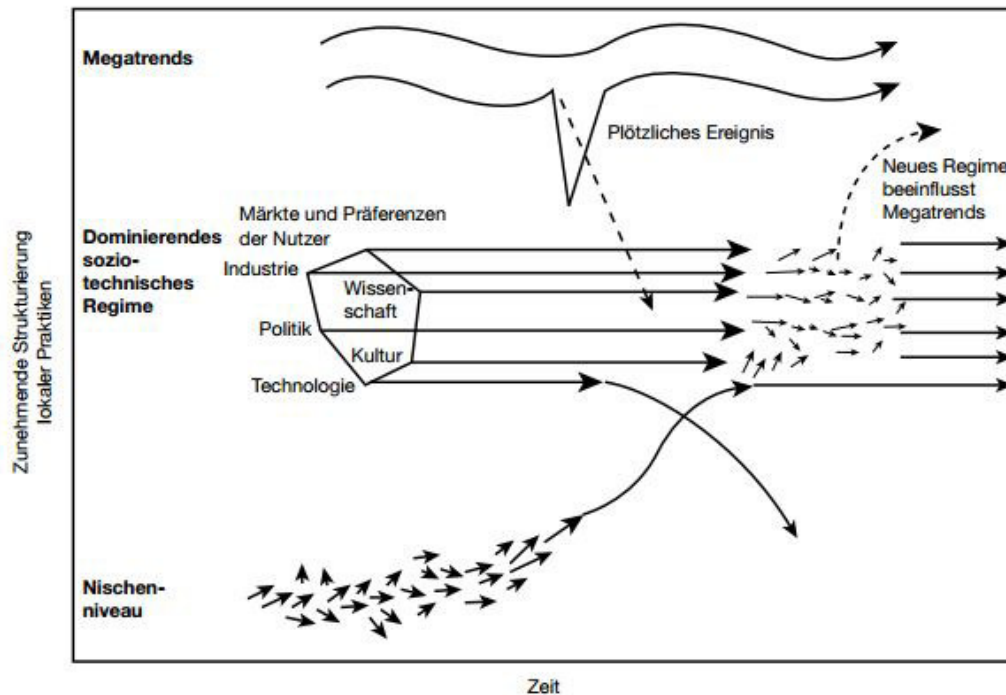


Abbildung 2.3: Mehrebenenmodell von Transformationsprozessen
(Abbildung aus WBGU 2011)

In der aktuell anstehenden Transformation stellt das dominierende soziotechnische Regime das aktuelle auf fossilen Brennstoffen beruhende Wirtschaftssystem dar. Auf eine Veränderung dieses Regimes arbeiten verschiedene s. g. Pioniere des Wandels im Nischenniveau hin. Der Druck des unteren Niveaus kann zu einer Veränderung des soziotechnischen Regimes führen. Schwer zu beeinflussende Megatrends, zu denen „technologische Eigendynamiken und Erfindungen, weltweite Machtverschiebungen, Kriege oder Großunfälle“ (WBGU 2011) gehören, fördern oder behindern vom Nischenniveau angestoßene Transformationsprozesse (vgl. WBGU 2011).

³Zu den Merkmalen einer großen Transformation gehören Veränderungen im Bereich von Produktion, Konsum und Lebensstil, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen (vgl. WBGU 2011).

Das Modell verweist damit auch auf die Bedeutung der „[...] Entwicklung neuer Technologien sowie [...] Diffusion technischer und sozialer Innovationen [...]“ (WBGU 2011) für einen erfolgreichen Transformationsprozess. Der Prozess der großen Transformation zeigt damit Parallelen zu den Kondratieff-Zyklen (siehe Abschnitt 4.1), beinhaltet jedoch auch einen Wertewandel (vgl. WBGU 2011).

Mit dem angestrebten Wandel der weltweiten Grundlagen des Wirtschaftssystems ist vor allem der Bereich Energie gemeint. Im Zentrum dieses Transformationsfeldes steht die Umstellung auf postfossile und erneuerbare Energien genauso wie eine Begrenzung der Energienachfrage und Energieeffizienzsteigerungen. Dabei bezieht sich der WBGU besonders auf den Transportsektor, dessen Anteil am weltweiten Kohlendioxid (CO₂)-Ausstoß im Jahr 2007 über 20% lag (vgl. WBGU 2011). In Europa lag der Anteil des Verkehrs im gleichen Jahr bei über 24,8% (vgl. UBA 2012).

Als notwendige Elemente der Transformation im Transportsektor greift der WBGU die Grundlagen der nachhaltigen Verkehrsplanung auf: Vermeiden, Verlagern, Verbessern. Dabei stellt der Beirat insbesondere für den Güterverkehr fest, dass „Anders als in anderen Sektoren [...] heute verfügbare oder in der Entwicklung fortgeschrittene Technologien nicht für eine vollständige Dekarbonisierung des Transportsektors [ausreichen]“ (WBGU 2011). Der angestrebte Wandel im Verkehrswesen ist damit abhängig von Innovationen, die das bisherige Verständnis von Verkehr grundlegend verändern können.

3 Innovationen in der Verkehrsgeschichte

Die Entwicklung und Verbreitung der Dampfmaschine als verursachende Basisinnovation der ersten ökonomischen Wachstumsphase nach Kondratieff stellt auch den Ausgangspunkt für eine radikale Veränderung des Verkehrswesens dar. Für die mit der Dampfmaschine ausgelöste industrielle Revolution waren Innovationen im Verkehr ein wichtiges Element: „sie waren ein Schmiermittel, das die Industrialisierung in Gang brachte und am Laufen hielt“ (Merki 2008). Mit einer selbstantreibenden Dampfmaschine wurden die ersten Bergwerksbahnen um 1804 in England motorisiert, womit eine rasante Entwicklung des Verkehrswesens eingeleitet wurde (vgl. Abbildung 3.1). Gut 20 Jahre später begann mit der ersten Passagierfahrt eines Zuges um 1825 eine erfolgreiche Phase des motorisierten Schienenverkehrs in Europa, die durch Innovationen wie Eisenräder (1849) gefestigt und verstärkt wurde (vgl. Merki 2008).

Die Entwicklung der Dampfmaschine wirkte sich jedoch nicht nur auf den Verkehrsträger Schiene aus. Schnell veränderten sich auch die anderen Verkehrsträger. Die Dampfschiffahrt begann ebenfalls um die Jahrhundertwende zum 19. Jahrhundert. Bis zur vollständigen Ablösung der Segelschiffe dauerte es jedoch noch bis ca. 1890 und wurde wiederum durch Folgeinnovationen wie die der Schiffsschraube (1830) begünstigt (vgl. Merki 2008). Im Straßenverkehr setzte sich die Dampfmaschine dagegen nie durch. Stattdessen wurde zunächst das Laufrad (1807) erfunden, das mit der Übernahme der Tretkurbel auf das Laufrad um 1860 schließlich als Fahrrad die Mobilität besonders in Städten beeinflusste (vgl. Merki 2008).

Ende des 20. Jahrhunderts wurde die Dampfkraft im Verkehrswesen durch neuere

Innovationen zunächst ergänzt und in der Mitte des 21. Jahrhunderts schließlich abgelöst. Die Nutzbarmachung der Elektrizität resultierte 1881 in dem ersten Elektromobil und in der Elektrifizierung von Schienenwegen (z. B. die Londoner U-Bahn) (vgl. Merki 2008). Nahezu zeitgleich wurden in Deutschland die ersten Automobile mit Verbrennungsmotoren entwickelt. Diese neue Form der Motoren wurde schnell für die Schifffahrt übernommen, in der um 1900 zunächst die Ölfeuerung die bis dahin übliche Feuerung mit Kohle ablöste (vgl. Merki 2008).

Die verschiedenen Eigenschaften von Verbrennungs- und Elektromotoren ließen lange Zeit offen, welche Technologie sich durchsetzen würde. Die Nachteile der Elektromotoren waren damals jedoch bereits die gleichen, die auch heute in der aktuellen Debatte um Elektrofahrzeuge viel diskutiert werden (z. B. Reichweite, Ladezeiten, etc.) (vgl. Merki 2008). In der Luftfahrt fiel die Entscheidung dagegen eher leicht. Die leichteren Verbrennungsmotoren setzten sich sowohl bei den Luftschiffen als auch bei Flugzeugen durch. 1903 gelang in den USA der erste kontrollierte Motorflug. Nach dem ersten Weltkrieg entwickelte sich schließlich auch

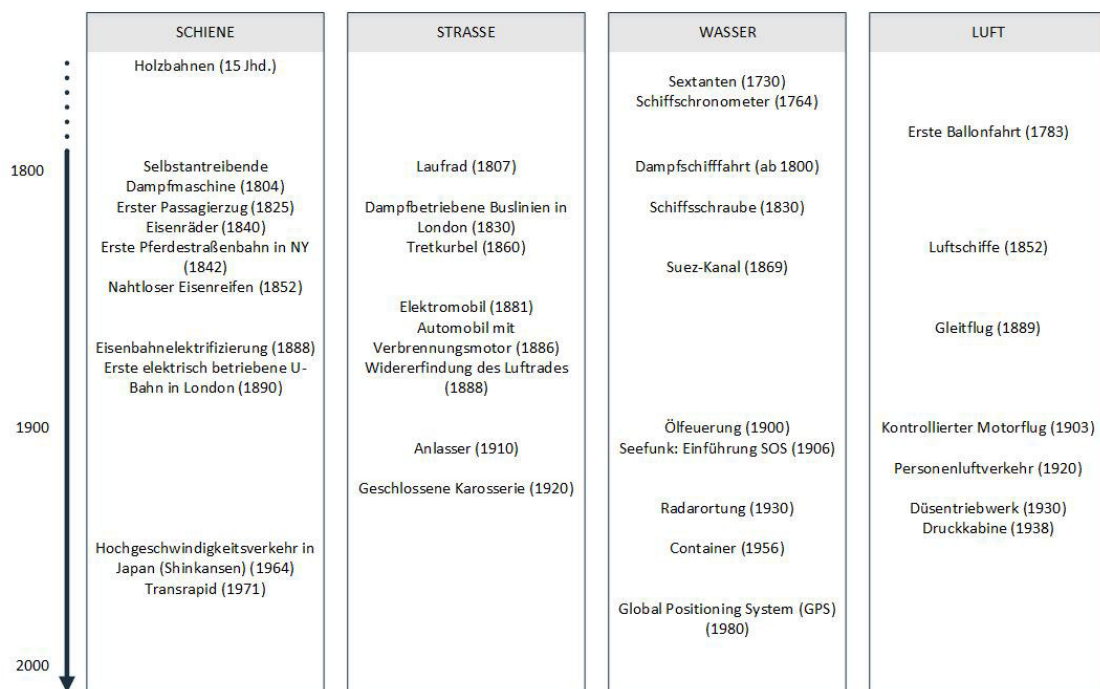


Abbildung 3.1: Ausgewählte Inventionen im Verkehr
(Eigene Darstellung nach Merki 2008)

ein ziviler Luftverkehr, der zusammen mit der kurz zuvor begonnen Erfolgsphase des Automobils begann, der Schiene Konkurrenz zu machen (vgl. Merki 2008).

Neben neuen Antriebstechniken gab es zu Beginn des 20. Jahrhunderts auch wesentliche fahrzeugunabhängige Innovationen und Fortschritte in der Materialtechnik. Weiterentwicklungen in der Navigations- und Kommunikationstechnik begünstigten Schifffahrt und Luftverkehr. Exemplarisch sei dazu die Einigung auf das internationale Notrufzeichen *SOS* im Jahr 1906 genannt (vgl. Merki 2008).

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gab es keine radikalen Innovationen in der Antriebstechnik mehr, die sich am Massenmarkt durchgesetzt haben. Wasserstoff- oder Nuklearantriebe sind außer in Marktnischen (z. B. im militärischen Bereich) nicht sehr verbreitet. Genauso wenig konnte sich (bisher) die Magnetschwebetechnologie durchsetzen. Im Straßenverkehr dominiert weiterhin das Automobil, das durch viele inkrementelle Innovationen weiter verbessert wurde.

Weniger eine technische als eine organisatorische Innovation war die Aufnahme des Hochgeschwindigkeitsverkehrs auf der Schiene in Japan (1964), der damit lange vor dem französischen Train à Grande Vitesse (TGV) oder dem deutschen InterCity Express (ICE) in Konkurrenz zum Straßen- oder Luftverkehr trat (vgl. Merki 2008). Im Güterverkehr veränderte die Einführung von Containern als Ladungsträger das Verkehrsgeschehen sowohl in technischer als auch organisatorischer Sicht (vgl. Merki 2008).

Merki stellt bei allen Innovationen gemeinsame (Wirkungs-) Trends fest, die er wie folgt beschreibt:

- schneller:
Neue Antriebstechniken und immer weitergehende Verbesserungen an diesen haben die möglichen Geschwindigkeiten auf allen Verkehrsträgern immer größer werden lassen und die Reise- und Transportzeiten verkürzt.
- weiter:
Mit den Antriebstechniken konnten immer größere Distanzen zurückgelegt werden. Die durchschnittlichen Reiseweiten steigen seit der industriellen Revolution kontinuierlich an.

- mehr:
Die gebauten Fahrzeuge werden immer größer (Kapazität), wodurch auch immer mehr Kapital zum Bau/zur Beschaffung notwendig wird. Die Mobilität ist gestiegen, es gibt mehr Verkehr, weil die Fahrzeugverfügbarkeit gestiegen ist.
- billiger:
Das Inanspruchnehmen von Verkehrsdienstleistungen ist immer günstiger geworden, weil technische und organisatorische Innovationen zu besserer Infrastruktur geführt haben und weil die sozialen Kosten mehr und mehr auf die Allgemeinheit übertragen werden.
- sicherer:
Auch wenn es bei Betrachtung der anderen Attribute nicht so scheinen mag: Der Verkehr ist immer sicherer geworden, was angesichts höherer Geschwindigkeiten und höherem Verkehrsaufkommen vor allem an technischen Innovationen im Fahrzeugbau liegt.

Diese Eigenschaften, die die Verkehrsinnovationen seit Beginn der industriellen Revolution gemeinsam haben, haben zu einem neuem Verständnis von Mobilität und Verkehr geführt. Eine Einordnung der industriellen Revolution aus verkehrlicher Sicht als Große Transformation (vgl. Abschnitt 2.3) wird damit plausibel.

Nicht alle hier vorgestellten Inventionen haben sich am Markt und in der Gesellschaft durchsetzen können, auch wenn sie die vorgestellten Eigenschaften erfüllen konnten/könnten. Für eine erfolgreiche Anwendung und Diffusion derartiger Neuerungen spielen noch viele weitere Faktoren eine Rolle, zu denen neben Zufall auch die in Abschnitt 4.4 genannten Einflussfaktoren zählen.

4 Innovations- und Diffusionstheorie

4.1 Innovationsverständnis

Die Grundlage für das heutige Innovationsverständnis lieferte der österreichische Ökonom *Joseph Alois Schumpeter*, der ökonomischen Wandel als Folge der „Durchsetzung neuer Kombinationen“ beschreibt (Schumpeter 1912). Die neuartige Kombination von Produktionsmitteln resultiert demnach in neuen Produkten oder Produktionsmethoden. Darüber hinaus kann auch die Erschließung neuer Märkte, die Einführung neuer Organisationsformen oder das Erschließen neuer Ressourcenquellen die Folge sein (vgl. Vahs und Brem 2015). Mit Hilfe der Durchsetzung neuer Kombinationen ist es einem Unternehmen möglich, vorübergehende Wettbewerbsvorteile zu generieren. Um das Marktgleichgewicht wieder herzustellen, werden Konkurrenten die Neuerungen imitieren oder aus dem Markt austreten, während gleichzeitig neue Unternehmen eintreten. Neue, am Markt erfolgreiche Produkte und Verfahren verdrängen damit die bereits existierenden. Schumpeter nennt dieses Ergebnis einen „Prozess der schöpferischen Zerstörung“, der auf verschiedenen Aggregationsstufen beobachtet werden kann (vgl. Weckwerth 1999). Der wirtschaftliche Wandel wird laut Schumpeter nur von solchen Unternehmern gefördert, die durch ihre besondere Persönlichkeit, Risikobereitschaft und Weitsicht aktiv auf die wirtschaftliche Durchsetzung von neuen Kombinationen hinarbeiten (vgl. Vahs und Brem 2015, Welsch 2005).

Schumpeter hat damit ein wesentliches Marktprinzip beschrieben, dessen Bedeutung durch den internationalen Wettbewerb und den damit einhergehenden kür-

zeren Produktlebens- und Innovationsszyklen noch gestiegen ist. Als Konsequenz machen sich immer mehr Unternehmen die bewusste und gezielte Suche nach Innovationen zu eigen (vgl. Vahs und Brem 2015).

Damit haben Innovationen auch einen großen Einfluss auf die Entwicklung von Volkswirtschaften, sodass die Innovationstätigkeit als Hinweis auf die Wachstumsfähigkeit interpretiert werden kann (vgl. Vahs und Brem 2015). In der Vergangenheit hat sich dabei jedoch gezeigt, dass Innovationen kein kontinuierliches Wirtschaftswachstum hervorrufen. Stattdessen gab es in der Vergangenheit nach Beobachtungen von Schumpeter und vor allem von *Nikolai D. Kondratieff* durch Innovationen ausgelöste konjunkturelle Wachstumsschübe (vgl. Blättel-Mink und Menez 2015). Die nach letzterem benannten langen Konjunkturwellen können auf besonders einschneidende Basisinnovationen zurückgeführt werden (vgl. Abbildung 4.1)). Als auslösende Basisinnovation für den ersten Kondratieff-Zyklus gilt z. B. die Dampfmaschine.

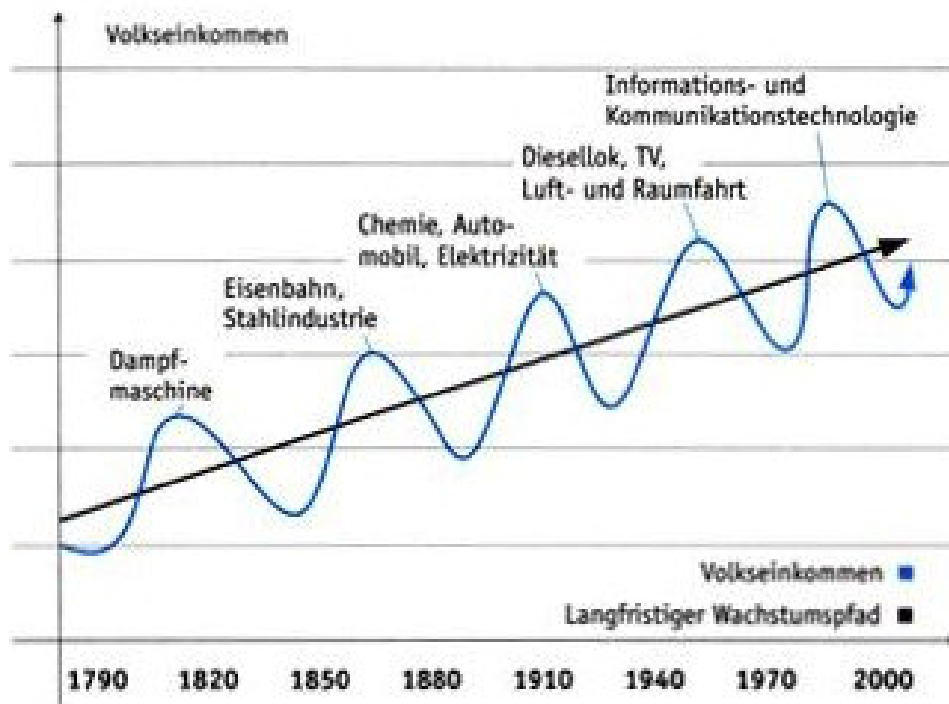


Abbildung 4.1: *Kondratieff-Zyklen*
(Abbildung aus Vahs und Brem 2015)

Jede Basisinnovation löst eine 20 bis 30-jährige Phase wirtschaftlichen Wachstums aus, in der das wirtschaftliche Potential dieser Innovation ausgeschöpft wird (z. B. durch Folgeinnovationen). In der Vergangenheit folgte darauf häufig eine Phase der Stagnation bis neue Basisinnovationen und darauf aufbauende Folgeinnovationen neues Wirtschaftswachstum ermöglichten (vgl. Welsch 2005). Konsequenterweise bezeichnet Briken Innovationen als Ausgangspunkt zur „Sicherung und Steigerung wirtschaftlichen Wachstums wie gesellschaftlichen Wohlstands“ (Briken 2015).

Gesellschaftlicher Wohlstand sollte dabei aber nicht nur als Folge des wirtschaftlichen Wachstums verstanden werden. Vielmehr wirken Innovationen auch auf das ökologische und soziale Umfeld. Zum Beispiel gingen die durch Basisinnovationen ausgelösten ökonomischen Wachstumsschübe durch die gesteigerte Nachfrage nach fossilen Ressourcen und den Konsequenzen deren Verbrauches zulasten der Umwelt. Innovationen erlauben aber auch das Eindämmen oder Verhindern negativer Auswirkungen, sodass Innovationen sowohl Problemverursacher als auch Problemlöser sein können (vgl. Welsch 2005).

Das weit ausholende Innovationsverständnis von Schumpeter und dessen Erklärung der Wirkungsweise von Innovationen wird zur Vereinfachung in der modernen Literatur häufig noch weiter eingegrenzt. Eine eindeutige, allgemeingültige Definition des Innovationsbegriffes gibt es dabei jedoch nicht. Gemeinsam haben die meisten Definitionen die Beschreibung bestimmter Merkmale von Innovationen. Vahs und Brem identifizieren vor allem den Neuheitsgrad, die Unsicherheit, die Komplexität und den Konfliktgehalt eines neuen Produktes oder Prozesses als Merkmale von Innovationen. In diesem Sinne definieren sie Innovation als die erstmalige wirtschaftliche Umsetzung einer neuen Invention, d. h. der erstmaligen Umsetzung einer Idee, mit dem Ziel der (Markt-) Einführung und (Markt-) Bewährung (Diffusion) (vgl. Vahs und Brem 2015).

Dieser Definition zufolge sind die (Markt-) Einführung und die Diffusion wesentliche Bestandteile der Innovation. Strenggenommen sind Inventionen damit keine Bestandteil von Innovationen, sondern eine notwendige Voraussetzung. Sie grenzen sich durch die ökonomische Verwertung von Innovationen ab (vgl. Vahs und Brem 2015).

Für die praktische Handhabung des Innovationsbegriffs wird häufig eine weitergehende Differenzierung nach Gegenstandsbereich, Auslöser, Neuheitsgrad oder Veränderungsumfang vorgenommen. Besonders häufig ist die Unterscheidung nach Gegenstandsbereich, vor allem in Produkt- oder Prozessinnovationen. Neue Güter oder Dienstleistungen gehören zu den **Produktinnovationen**, die neue Märkte etablieren oder bestehende erweitern bzw. ersetzen können (vgl. Welsch 2005). Solche Innovationen zielen auf die Befriedigung konkreter Kundenbedürfnisse ab (vgl. Vahs und Brem 2015). Demgegenüber wirken **Prozessinnovationen** sich auf Herstellungsprozesse aus, indem sie die „notwendigen materiellen und informationellen Prozesse“ (Vahs und Brem 2015) innerhalb eines Unternehmens verändern.

4.2 Innovationsprozesse und -auslöser

Das Ziel der Markteinführung und Diffusion erschweren die Betrachtung von Innovation als konkretes, abgrenzbares Ergebnis eines Prozesses. Deswegen hat sich eine prozessuale Sichtweise auf Innovationen etabliert, die häufig auch den Inventionsprozess integriert (vgl. Vahs und Brem 2015, Welsch 2005). Dieser beginnt in der Regel mit der Erschließung neuen Wissens in der Grundlagenforschung, das in der angewandten Forschung auf einen Anwendungsbereich konkretisiert und in der Entwicklungsphase zu neuen ökonomisch verwertbaren Technologien wird (vgl. Vahs und Brem 2015)¹. Daran schließt sich der eigentliche Innovationsprozess an, in dem die Ergebnisse der Inventionsphase am Markt verwertet werden.

Der Ursprung von Innovationen liegt auf der Angebotsseite, „wenn in einer neuen Technologie [...] Kundennutzenpotenziale identifiziert werden, die zu der 'Entdeckung' einer Innovation führen“ (Vahs und Brem 2015). Diese Erklärung des Innovationsursprungs wird **Technology-Push** genannt. Demgegenüber steht der **Market-Pull**, wenn auf Marktseite ein Problem bzw. nicht befriedigtes Bedürfnis festgestellt wird, welches Unternehmen zu lösen versuchen (vgl. Welsch 2005, Vahs und Brem 2015).

¹Der Begriff Technologie bezeichnet „Wissen, Kenntnisse und Fertigkeiten zur Lösung technischer Probleme sowie Anlagen und Verfahren zur praktischen Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse“ (Schuh 2011).

Weitere Auslöser von Innovationen können in der Umwelt von Unternehmen gefunden werden (exogene Faktoren), z. B. geänderte gesetzliche Anforderungen, steigende Wettbewerbsintensität durch neue Wettbewerber oder auch im Sinne der Kondratieff-Zyklen bedeutungsvolle Basisinnovationen. Für das Unternehmen selbst gibt es auch endogene innovationauslösende Faktoren z. B. durch zu lösende technische Probleme (vgl. Vahs und Brem 2015).

4.3 Diffusion von Innovationen

Mit der Markteinführung und den dazu notwendigen Investitionen (z. B. in neue Produktionsmittel, Personal, etc.) wird ein neues Produkt oder Verfahren wirtschaftlich relevant (vgl. Welsch 2005). Der ökonomische Erfolg einer Innovation ist abhängig von dessen Diffusion, die Schmidt wie folgt definiert: „Diffusion beschreibt und erklärt den Verlauf der zeitlichen Ausbreitung von Innovationen, bezogen auf ein soziales System“ (Schmidt 2009). Die Übernahme von Innovationen durch die einzelnen Mitglieder eines sozialen Systems ist damit Grundlage der Diffusion und wird Adoption genannt (vgl. Schuh 2011).

Die erste Phase des Annahmeprozesses ist dabei die Wahrnehmung der Innovation, an die sich die Phase der Entscheidung zur Übernahme anschließt. Der Adoptionsprozess ist abgeschlossen, wenn das Individuum die Entscheidung tatsächlich umsetzt (vgl. Schuh 2011). In der Literatur wird der Adoptionsverlauf in Form der zeitabhängigen relativen Anzahl an Adoptoren häufig als normalverteilt beschrieben (vgl. Abbildung 4.2). Die Darstellung der relativen kumulierten Adoptorenzahl im Zeitverlauf ergibt darauf aufbauend die Diffusionskurve, die den charakteristischen S-Kurven-Verlauf einer logistischen Funktion hat (vgl. Abbildung 4.3).

Um eine genauere Analyse des Adoptions- und Diffusionsverlaufes zu ermöglichen, werden die Adoptoren in verschiedene Kategorien eingeteilt. Abhängig vom Zeitpunkt der Innovationsübernahme werden den Adoptoren dazu verschiedene Eigenschaften zugewiesen. Die ersten Adoptoren einer Innovation werden als *Innovatoren* bezeichnet, die sich durch eine hohe Risikobereitschaft, Abenteuerlichkeit und die Kontrolle über finanzielle Ressourcen auszeichnen. Denen folgen die *Frühen*

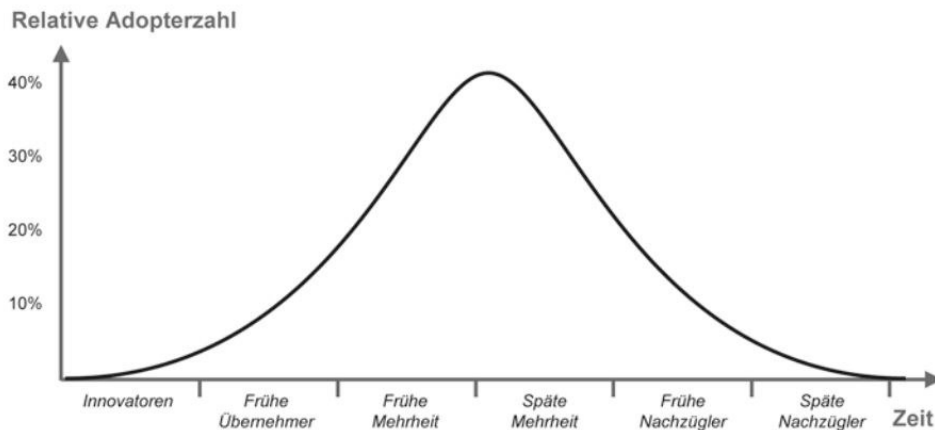


Abbildung 4.2: Adoptionskurve
(Abbildung aus Schuh 2011)

Übernehmer (early adoptors), die durch Übernahme der Meinungsführerschaft die Diffusionsgeschwindigkeit beeinflussen und die *Frühe Mehrheit* (early majority) sowie indirekt durch sozialen Druck die *Späte Mehrheit* (late majority) zur Adoption motivieren. Die *Nachzügler* (laggards) halten dagegen lange an bewährten Produkten/Prozessen fest und übernehmen als Letzte und ohne Risiko die Innovation (vgl. Schmidt 2009).

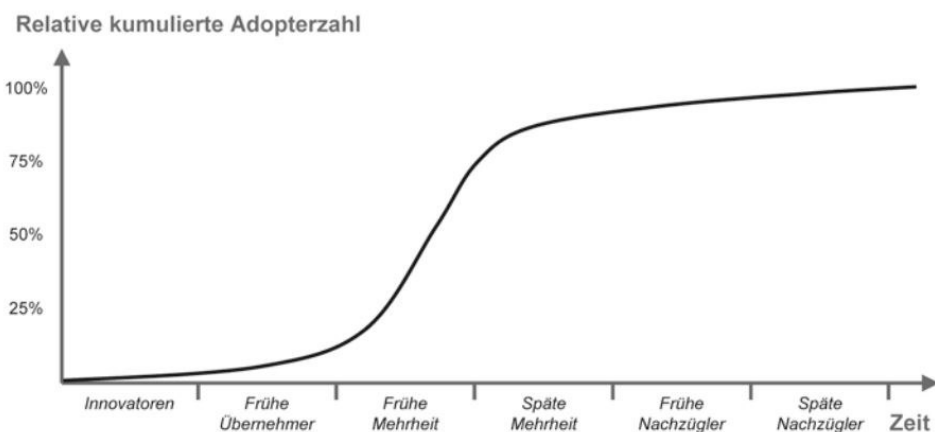


Abbildung 4.3: Diffusionskurve
(Abbildung aus Schuh 2011)

Die Diffusion einer Innovation verläuft dabei nicht automatisch in dieser Form. Ein Abbrechen der Diffusion beim Übergang von einer Adoptorengruppe zur nächsten

ist insbesondere zwischen den frühen Übernehmern und der frühen Mehrheit nicht ausgeschlossen (vgl. Schmidt 2009). Im Diffusionsprozess können vielfältige Barrieren auftreten, die zu einem Scheitern der Diffusion, einer Verzögerung oder einer Verformung des Diffusionsverlaufes führen können. Diese können bereits im Unternehmen durch Kenntnis- und Fähigkeitsbarrieren, aber auch durch Willensbarrieren hervorgerufen werden. Auf Marktseite kann das vom Kunden wahrgenommene Risiko eine Diffusionsbarriere bilden, wenn es die Adoption verhindert. Faktoren, die den Erfolg der Diffusion von Innovationen beeinflussen können, werden im nachfolgenden Abschnitt 4.4 erläutert.

4.4 Einflussgrößen des Innovationserfolgs

Der Innovationserfolg setzt sich im Wesentlichen aus drei Elementen zusammen. Zunächst ist ein möglichst großer Markt mit vielen potentiellen Adoptoren wünschenswert, in dem sich die Innovation schnell ausbreitet. Je weiter die Diffusion bei dem Markteintritt von Imitatoren fortgeschritten ist, desto gefestigter ist der ökonomische Erfolg für das innovierende Unternehmen. In diesem Sinne muss das Unternehmen anstreben, den eigenen Anteil am Adoptionspotential zu maximieren (vgl. Hofbauer 2004). Die Adoption/Diffusion von Innovationen wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Eine Auswahl möglicher Einflussfaktoren ist in Tabelle 4.1 aufgeführt.

Einen direkten Einfluss haben besonders die innovationsspezifischen Faktoren. Der Erfolg einer Innovation hängt zuerst von deren relativen Vorteil gegenüber den bisher verwendeten Alternativen ab (vgl. Schmidt 2009). Die Erkennbarkeit des zusätzlichen Nutzens in Form des relativen Vorteils für die Adoptoren ist Voraussetzung der Adoption und wird durch das Ausmaß der möglichen Erprobbarkeit sichergestellt (vgl. Schmidt 2009, Vahs und Brem 2015). Darüber hinaus regt die Kompatibilität zu bestehenden Produkten, Werten und Erfahrungen des Adoptors und der Schwierigkeitsgrad der Nutzung (Komplexität) die Adoptionsentscheidung an (vgl. Blättel-Mink und Menez 2015). Der Reifegrad der Innovation bezeichnet deren Fehleranfälligkeit und verändert zusammen mit dem von potentiellen Adoptoren wahrgenommenen Risiko die Adoptionsgeschwindigkeit (vgl. Schmidt 2009).

Tabelle 4.1: Einflüsse einer erfolgreichen Innovation

Merkmale des Adoptionsobjektes (innovationsspezifische Faktoren)	relativer Vorteilhaftigkeit	
	Kompatibilität	
	Komplexität	
	Beobachtbarkeit	
	Erprobbarkeit	
	Kommunizierbarkeit	
	Reifegrad der Innovation	
	wahrgenommenes Risiko	
Marktpositionierung		
Merkmale der Adoptionsumwelt (umweltbezogene Faktoren)	ökonomisch	Marktgröße
		Marktdynamik
		Marktstabilität
		Kooperationsmöglichkeiten
		verfügbare Komplementärprodukte
		Verhalten der Wettbewerber
		Wirtschaftssystem
	politisch-rechtlich	Verfügbarkeit von Forschungsergebnissen staatlicher Institutionen
		Verbote, Einschränkungen
		Subventionen
technisch	Produktwahrnehmung	
sozio-kulturell	Technikakzeptanz	
Merkmale des Adoptionsubjekts (adoptorbefugene Faktoren)	intraindividuell	Selbstbewusstsein
		Spontanität
		Neugierde
		Aufgeschlossenheit
		Kontaktfreude
		Einkommen
		Bildungsniveau
	Lebensstandard	
	interindividuell	Interaktion mit sozialem Umfeld
Unternehmensinterne Faktoren	Alter des Unternehmens/Branche	
	Unternehmensgröße	
	Innovationshistorie	
	Innovationsstrategie	
	verfügbare finanzielle Ressourcen	
	Organisationskultur	
	Informationsfluss	
	Unternehmensphilosophie	
	Effektivität u. Effizienz der Innovationstätigkeit	

Eigene Zusammenstellung nach Vahs und Brem 2015, Abele und Ecke 2013, Hofbauer 2004, Schmidt 2009, Blättel-Mink und Menez 2015, Schuh 2011

Von den Merkmalen der Innovation unabhängig wirkt die ökonomische, politisch-rechtliche, technische und sozio-kulturelle Umwelt auf die Diffusion. Die ökonomischen Faktoren (Marktgröße, -dynamik, -stabilität, etc.) wirken hauptsächlich indirekt auf die Adoptionsentscheidung, indem sie Unternehmensentscheidungen zu Marktpositionierung und Umfang der Marketingmaßnahmen beeinflussen (vgl. Vahs und Brem 2015). Auf die Adoptionsbereitschaft wirkt jedoch auch die Existenz von Komplementärprodukten, mit denen die Attraktivität der Innovation gesteigert werden kann (vgl. Schmidt 2009). Das Vorhandensein und die Verbreitung von komplementären Gütern beeinflusst insbesondere die Diffusion von innovativen *Netzeffektgütern*, deren Kundennutzen dadurch zusätzlich steigt. Genauso wie für Netzeffektgüter gilt auch für *Systemgüter*, deren Produktnutzen nur durch die Interaktion mit anderen Mitgliedern des sozialen Systems abgerufen werden können, dass der Nutzen mit dem Verbreitungsgrad der Innovation steigt. Der Diffusionsverlauf von Systemgütern zeichnet sich durch einen zunächst flacheren und dann steileren Verlauf der S-Kurve (vgl. Abschnitt 4.3) aus, hinter der eine Kritische-Masse-Problematik steht. Die kritische Masse steht dabei für die Mindestzahl von Anwendern, ab der der Nutzen der Innovation eine langfristige Verwendung gesichert ist. Für *Singulärgüter* hat der Verbreitungsgrad keinen Einfluss auf die individuelle Adoptionsentscheidung (vgl. Stuhr 2013).

Zu den politisch-rechtlichen Faktoren gehören neben Verboten, Einschränkungen und Subventionen auch die Verfügbarkeit von Forschungsergebnissen staatlicher Institutionen, mit denen zum einen die betriebliche Innovationstätigkeit gefördert wird und die zum anderen zur Verständlichkeit der Innovation für potentielle Adoptoren beiträgt (vgl. Vahs und Brem 2015). Die positive Wahrnehmung der Innovation vor dem Hintergrund der vorhandenen technischen Umwelt und eine hohe Technikakzeptanz der sozio-kulturellen Umwelt wirkt beschleunigend auf den Diffusionsverlauf (vgl. Schmidt 2009).

Der Diffusionsverlauf wird zumindest im Konsumgüterbereich auch von individuellen adoptorbezogenen Faktoren beeinflusst (vgl. Hofbauer 2004). Dazu gehören intraindividuelle Merkmale der Persönlichkeit und des Sozialverhaltens (z. B. Selbstbewusstsein, Neugierde, Kontaktfreude) genauso wie das Einkommen oder das Bildungsniveau. Letztere wirken besonders indirekt auf innovationsspezifische

Faktoren: Ein hohes Bildungsniveau kann z. B. die Komplexität und damit das wahrgenommene Risiko der Adoption verringern und diffusionsfördernd wirken. Außerdem kann die Art der individuellen Interaktion mit der sozialen Umwelt als interindividuellem Faktor auf die Übernahmeentscheidung wirken (vgl. Schmidt 2009) Dieser Faktor tritt z. B. beim Diffusionsphasenübergang von der frühen zur späten Mehrheit auf. Im Industriegüterbereich wird die Adoptionsentscheidung durch spezielle Entscheidungskriterien objektiviert, die im Wesentlichen die Merkmale des Adoptionsobjektes adressieren (vgl. Hofbauer 2004).

Eine vierte Gruppe potentieller Einflussfaktoren stellen unternehmensinterne Faktoren dar, die nicht nur die reine Verbreitung im Markt, sondern auch den innerbetriebliche Innovationsprozess beeinflussen. Zu nennen sind dabei neben den Charakteristika des innovierenden Unternehmens (z. B. Alter, Größe, Organisationsstruktur) die Innovationsstrategie und der Informationsfluss. Ein funktionierender vertikaler und horizontaler innerbetrieblicher Informationsfluss kann das Entstehen von Kenntnis-, Fähigkeits- und Willensbarrieren verhindern. Genauso kann durch frühzeitige Informations- und Marketingmaßnahmen von Meinungsführern (frühe Adoptoren) eine schnelle Diffusion begünstigt werden (vgl. Abele und Ecke 2013, Hofbauer 2004).

5 Untersuchungsmethodik und Auswahl der Fallstudien

Mit Hilfe der in Abschnitt 4.4 genannten Einflussfaktoren auf den Diffusionsprozess kann der Entscheidungsprozess von potentiellen Adoptoren nachvollzogen werden. In diesem Prozess wägt das Adoptionsubjekt die Gestaltung der einzelnen Faktoren gegeneinander ab. Abbildung 5.1 zeigt das Zusammenwirken der gruppierten Einflussfaktoren auf die Adoptionsentscheidung.

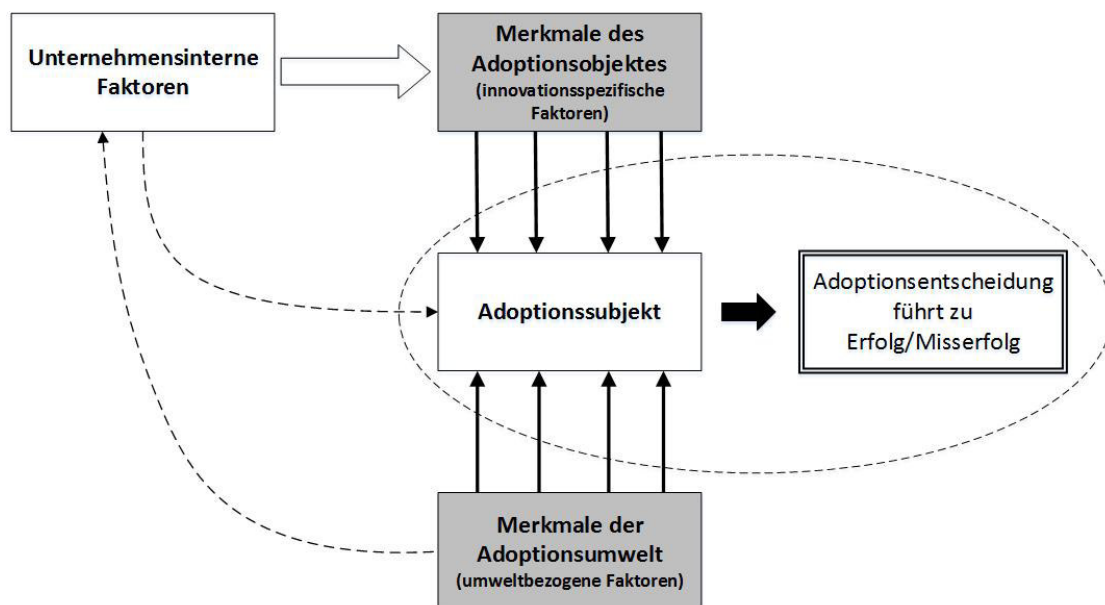


Abbildung 5.1: Wirken der gruppierten Einflussfaktoren (eigene Darstellung)

Im Zentrum steht das Adoptionsubjekt. Dessen Entscheidung zur Übernahme einer Innovation wird dabei außer von den eigenen Überzeugungen (adoptorspezi-

fische Merkmale) von den Merkmalen der Innovation (Adoptionsobjekt) selbst beeinflusst. Idealerweise überzeugt die Ausprägung der innovationsspezifischen Merkmale das Adoptionssubjekt von seinem Zusatznutzen. Auch die Merkmale der Adoptionsumwelt und deren Wahrnehmung können sich sowohl positiv als auch negativ auf die Adoptionsentscheidung auswirken.

Unternehmensinterne Faktoren haben hauptsächlich indirekt über deren Wahrnehmung durch das Adoptionssubjekt Einfluss auf die Adoptionsentscheidung. Diese Faktoren prägen die Innovation und formen damit die Merkmale des Adoptionsobjektes. Über die unternehmensinternen Faktoren kann gleichzeitig die Adoptionsumwelt die Innovation mitgestalten. Das Ausmaß vieler unternehmensinterner Faktoren (z. B. Innovationsstrategie oder Verfügbarkeit finanzieller Ressourcen) wird von Faktoren der (ökonomischen) Adoptionsumwelt beeinflusst. Auf diese Weise bestimmt die Adoptionsumwelt die Innovation und deren Merkmale indirekt mit.

Im Idealfall überzeugen sowohl die innovationsspezifischen als auch die umweltbezogenen Faktoren das Adoptionssubjekt von dem zu gewinnenden Zusatznutzen durch die Übernahme der Innovation. In vielen Fällen war die Adoptionsumwelt einer Innovation gegenüber jedoch zunächst kritisch eingestellt. Diese Widerstände mussten durch die Gestaltung der innovationsbezogenen Merkmale überwunden werden, damit die Diffusion erfolgreich sein konnte.

Wie bereits beschrieben hat das Verkehrswesen eine große Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Es steht im Zentrum der anstehenden großen Transformation. Deren Gelingen ist von der Entwicklung und Anwendung innovativer Technologien abhängig, die nachhaltigen Verkehr ermöglichen. Die Innovationshistorie hat jedoch gezeigt, dass sich nicht alle Innovationen wirklich durchsetzen konnten. Die Gründe für den Erfolg bzw. das Scheitern werden in den nachfolgenden Kapiteln anhand einiger vergangener und anstehender Innovationen untersucht.

Dazu sollen die innovationsspezifischen und umweltbezogenen Einflussfaktoren auf die Adoptionsentscheidung qualitativ untersucht und Gemeinsamkeiten herausgearbeitet werden. Wegen des tendenziell indirekten Einflusses der unternehmensin-

ternen Faktoren werden diese dabei weitestgehend außen vor gelassen. Gleichermaßen werden die Merkmale des Adoptionssubjekts wegen ihrer Individualität und geringen Beeinflussbarkeit nicht näher betrachtet.

Für die Analyse werden Innovationen aus unterschiedlichen Bereichen des Verkehrswesens mit unterschiedlichen Eigenschaften ausgewählt. Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst die in Deutschland entwickelte Magnetschwebetechnologie betrachtet, deren Einsatz hauptsächlich im Personenverkehr gedacht ist. Dagegen hat sich das Containersystem als Ladungsträger ausschließlich auf den Güterverkehr ausgewirkt. Sowohl an den Personenverkehr als auch an den Güterverkehr richtet sich die letzte Fallstudie zum autonomen Fahren. Diese kurz vor der Markteinführung stehende Innovation kann das Verkehrssystem umfassend verändern. Dadurch kann auch die sogenannte vierte industrielle Revolution (*Industrie 4.0*)¹ gefördert werden, für die sich die Industrie eine größere Flexibilität und Stabilität in der Transportkette wünscht (vgl. IML 2014).

Die Fallstudien zeugen von der großen Vielfalt möglicher Innovationen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Damit tragen sie zu einem umfassenden Überblick über die Einflüsse auf Innovationen im Verkehrssektor bei, sodass allgemeine Rückschlüsse auf die Erfolgsfaktoren möglich werden.

¹Unter Industrie 4.0 wird das Bestreben nach einer digitalisierten Produktion verstanden, in der intelligente Fabriken selbständig und flexibel Produktionsentscheidungen treffen können. Voraussetzung dazu ist eine umfassende Integration vor- und nachgelagerter Prozesse, zu denen auch der Transportprozess gehört (vgl. IML 2014).

6 Magnetschwebebahn Transrapid

Die Geschichte der Magnetschwebebahn startete im Jahr 1934 mit dem ersten Patent zum magnetischen Schweben von *Hermann Kemp* und dessen Vision von Hochgeschwindigkeitsreisen zwischen Basel und Berlin in nur 41 Minuten (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006). Die Firma MBB begann als erstes deutsches Unternehmen mit der Entwicklung der Technologie und bewies 1971 auf einer Versuchsstrecke deren Anwendbarkeit. Ab 1972 stiegen weitere große Unternehmen in die Forschung ein und entwickelten bis 1999 eine für den Personenverkehr zugelassene Magnetschwebebahn, die auf einer eigens errichteten Versuchsstrecke Geschwindigkeiten von bis zu 450 km/h erreichte (vgl. Uchatius 2012). Besonders in den Anfangsjahren war die Begeisterung über die Technologie in der Öffentlichkeit und Politik so groß, dass zwischen 1,5 und 2 Mrd. Euro öffentlicher Mittel für die Entwicklung und Erprobung der Technologie bereitgestellt wurde (vgl. Gäthke 2008).

Während der Entwicklungszeit wurden verschiedenste Verbindungen innerhalb Deutschlands als mögliche Transrapid-Strecken in Betracht gezogen. Vor allem in das so bezeichnete „Große C“ als Verbindung von Berlin nach München über das Ruhrgebiet wurden große Hoffnungen gesetzt, mit der einer erfolgreichen Markteinführung der Weg geebnet werden sollte (vgl. Uchatius 2012). Daneben gab es weitere Projekte zur Verbindung verschiedener Großstädte oder zur Anbindung von Flughäfen. Viele diese Projekte wurden jedoch zugunsten von ICE-Schnellfahrstrecken (z. B. zwischen Köln und Frankfurt) oder aus Kostengründen (z. B. „Metrorapid“ zwischen Dortmund und Düsseldorf) bis zum Jahr 2003 eingestellt (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006). Zwischen dem Münchener Flughafen und

dem Stadtzentrum wurde noch bis 2008 an den Planungen für eine Transrapid-Strecke festgehalten, bevor die Einstellung aus Kostengründen erfolgte (vgl. Uchatius 2012).

Die einzige in Deutschland realisierte Transrapid-Strecke ist damit die Versuchsanlage im Emsland, die nach einem durch menschliches Versagen ausgelösten Unfall mit 23 Toten und der Beendigung des Münchener Projektes zum Ende des Jahres 2011 geschlossen wurde (vgl. Uchatius 2012). Die einzige kommerzielle Magnetschwebebahn der Welt wurde 2004 auf ca. 30 km zwischen Shanghai und dem internationalen Flughafen Pudong eröffnet. Die vielfältigen Erwartungen an den Transrapid und die Hoffnungen auf den Bau von weiteren Strecken in China haben sich für das errichtende Firmenkonsortium nicht erfüllt (vgl. Bartsch 2013).

6.1 Bestimmung des Adoptionsobjektes

Die Entscheidung zur Adoption ist im Regelfall eine Investitionsentscheidung, weshalb derjenige, der die notwendigen finanziellen Mittel zur Adoption aufbringt, als Adoptionsobjekt benannt werden kann. Häufig gestaltet sich dies jedoch auf Grund komplizierter Finanzierungsgeflechte im Bereich der Verkehrsinfrastruktur und des Verkehrsbetriebs als schwierig. In Deutschland liegen Bau und Erhalt von Schienenwegen, Binnenwasserstraßen und Straßen nach Art. 87e GG, Art. 89 GG und Art. 90 GG sowie diversen Landesgesetzen im staatlichen Aufgabenbereich. Eine staatliche Beteiligung durch den Bund oder die Länder erscheint damit notwendig.

Das letzte deutsche Transrapid-Projekt in der bayerischen Landeshauptstadt München sollte durch eine Öffentlich Private Partnerschaft (ÖPP) finanziert werden. Neben Bund und Land war eine Beteiligung der ausführenden Industrie- und Bauunternehmen, Flughafen und der Deutschen Bahn als designiertem Betreiber vorgesehen (vgl. Doll 2008). Alle Beteiligten haben natürlich auch Einfluss auf die Entscheidung über die Adoption.

Einen besonderen Stellenwert innerhalb dieser Gruppe wird neben dem Staat auch der Einfluss des potentiellen Betreibers haben. Zusammen haben diese beiden Ak-

teure auch immer den möglichen Nutzen der Endkonsumenten, d. h. der Fahrgäste, im Fokus. In den folgenden Abschnitten werden die in Abschnitt 4.4 erläuterten innovationsspezifischen und umweltbezogenen Einflussfaktoren auf das Fallbeispiel Transrapid bezogen und untersucht.

6.2 Untersuchung der Einflussfaktoren

6.2.1 Innovationsspezifische Faktoren

Relative Vorteilhaftigkeit

Vor dem Hintergrund einiger eingestellter Transrapidprojekte haben sich Schach, Jehle und Naumann im Jahr 2006 bemüht, die relative Vorteilhaftigkeit des Transrapids gegenüber dem herkömmlichen Hochgeschwindigkeitsverkehr auf der Schiene mit Hilfe verschiedener Vergleichsindikatoren nachzuweisen. Die dazu verwendeten Indikatoren sind in Tabelle 6.1 im Vergleich zum ICE bewertet.

Tabelle 6.1: Vorteilhaftigkeit des Transrapids gegenüber dem ICE anhand ausgewählter Kriterien

	Vergleich zum ICE		
	besser	gleich	schlechter
Reisezeit / -geschwindigkeit	X		
Komfort		X	
Erreichbarkeit/ Trassierung			(X)
Kosten	(X)		
Sicherheit	(X)		
negative Umweltwirkungen		(X)	
Wirtschaftseffekte	X		
X deutliche Ausprägung (X) geringe Ausprägung			

Die in der Tabelle durchgeführte Bewertung der Faktoren ist nicht zwangsläufig eindeutig. Vielmehr stellt diese eine Abwägung verschiedener Faktoren dar, die im Folgenden erläutert wird:

- geringere Reisezeiten / höhere Reisegeschwindigkeit:
Für geringere Reisezeiten und damit höhere Reisegeschwindigkeiten ist nicht so sehr die maximale Geschwindigkeit ausschlaggebend. Stattdessen verursacht die Bildung von Netzen im herkömmlichen Schienenverkehr längere Reisezeiten, da Knotenpunkte mit vielen Weichen nur mit niedrigerer Geschwindigkeit zu befahren sind. Das System Transrapid sieht während der eigentlichen Reise zwischen Start- und Zielhalt keine variierenden Fahrwege und damit auch keine Befahrung von Weichen vor (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006). Zusätzlich wird die Reisegeschwindigkeit von ICE-Zügen durch den unterschiedlichen Ausbauzustand einzelner Streckenabschnitte und den in Deutschland vorherrschenden Mischverkehr auf der Schiene gemindert.
- Komfort:
Die Beschreibung einer ruckelfreien Reise im Transrapid als „Fliegen in Höhe Null“ (Uchatius 2012) hat sich spätestens mit der ersten kommerziellen Magnetschwebebahn in Shanghai als übertrieben herausgestellt. Schach, Jehle und Naumann beschränken den Komfortvorteil des Transrapids gegenüber dem ICE auf die zu erwartende Pünktlichkeit.
- Erreichbarkeit und Trassierung:
Das bestehende Schienennetz ermöglicht meist eine Reise bis in die Stadtzentren. Für den Transrapid ist eine solche auf Grund der bereits dichten Bebauung in vielen Innenstädten dagegen nur schwer zu erreichen. Allerdings begünstigen die Trassierungsmöglichkeiten (engere Kurvenradien, höhere Steigungen) des Transrapids eine Anpassung und Angliederung der Strecken an bestehende Verkehrsachsen (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006).
- Kosten:
Die Kosten für den Bau von Transrapid-Strecken müssen aufgrund der in dem Fahrweg verbauten Technik höher als für Schienenverkehrstrassen angesetzt werden. Dasselbe gilt für die Anschaffung der Fahrzeuge. Die nahezu verschleißfreie Fahrt senkt dafür jedoch die Betriebskosten des Transrapids (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006).
- Sicherheit:

Der Transrapid ist ebenso wie die Eisenbahn ein spurgeführtes Transportsystem, das durch einen hohen möglichen Automatisierungsgrad ein hohes Maß an Sicherheit verspricht. Auch die die Führungsschiene umfassende Konstruktion, die durch die gerichteten Magnetfelder in der Schiene induzierte Unmöglichkeit einer Frontalkollision und ausgeschlossene Flankenfahrten tragen zu einem sehr hohen Sicherheitsniveau bei (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006). Jedoch hat sich die Sicherungstechnik im herkömmlichen Schienenverkehr auch weiterentwickelt, eine Vollautomatisierung ist technisch inzwischen ebenfalls möglich. Die relative Vorteilhaftigkeit des Transrapids im Bereich Sicherheit beruht also hauptsächlich auf dem unmittelbaren Kollisionausschluss.

- negative Umweltwirkungen:

Lärm- und Schadstoffemissionen sind auch bei der Errichtung von Verkehrstrassen des Transrapids ein zentrales Thema. Eisenbahn und Transrapid unterscheiden sich bei den Schadstoffemissionen nur geringfügig, da diese im Wesentlichen von dem Energieeinsatz abhängen. Zwar sind Magnetschwebebahnen gegenüber den älteren ICE-Modellen leiser unterwegs, bei den neuesten Modellen ist dieser Unterschied jedoch kaum mehr vorhanden (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006).

- Wirtschaftseffekte:

Die Herstellung der Transrapid-Züge und der notwendigen Strecke kann sich nach Meinung von Schach, Jehle und Naumann positiv auf die wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands auswirken. Der innovativen Technologie werden große Entwicklungspotentiale eingeräumt, die mit dem Export nach Asien und Nordamerika einhergehen (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006). Die Misserfolge bei der Einführung der Technologie in Deutschland hat jedoch die Exportchancen entscheidend geschmälert (vgl. Uchatius 2012).

Die Vielzahl an möglichen Indikatoren, die zur Bestimmung der relativen Vorteilhaftigkeit zu Rate gezogen werden können, bilden nicht immer ein eindeutiges Bild. Vielmehr spiegeln sich in diesen Indikatoren häufig die auch in der Öffentlichkeit ausgetauschten Pro- und Contra-Argumente wider. Da die Abschätzungen der tatsächlichen Wirkungen von Innovationen immer mit Annahmen verbunden

sind, sind auch die Indikatoren häufig strittig. Im Falle des Transrapids wurde sich insbesondere über den Energieverbrauch gestritten, der lange Zeit ein Hauptargument und damit relativer Vorteil für den Transrapid darstellen sollte.

In diesem Zusammenhang zeigt sich auch, dass die Ausgestaltung des relativen Vorteils sehr zeitabhängig ist. Zu Beginn der Entwicklung des Transrapids in den 1970er Jahren steckten auch alternative Hochgeschwindigkeitszüge auf der Schiene noch in den Kinderschuhen. Die Vorteile des Transrapids gegenüber dem herkömmlichen Schienenverkehr in Sachen Komfort, Geschwindigkeit, Energieverbrauch, etc. sind durch die parallele Weiterentwicklung einzelner Systemkomponenten der Bahn (z. B. Luftfederung des ICE) geringer geworden.

Die relative Vorteilhaftigkeit des Transrapids bestimmt sich nicht nur durch den Vergleich zum herkömmlichen Hochgeschwindigkeitsverkehr auf der Schiene, sondern auch durch den Vergleich zum innereuropäischen Luftverkehr. Allerdings wird ein solcher Systemvergleich durch die unterschiedlichen Charakteristika der Verkehrssysteme erschwert. Dies liegt besonders an dem unterschiedlichen Bedarf an Infrastruktur. Damit wird die Durchführung eines ähnlichen Vergleiches zwischen Magnetschwebebahn und Flugzeug zu einem Vorhaben, das den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde.

Kompatibilität

Wie in Abschnitt 4.4 erläutert, bezeichnet der Erfolgsfaktor Kompatibilität den Grad, zu dem eine Innovation zu den vorhandenen Produkten, Werten und Erfahrungen des Adoptors passt. Besonders greifbar wird die Frage nach der Kompatibilität aus Sicht der Deutschen Bahn, die zumindest beim Münchener Transrapid-Projekt als Betreiber angedacht war. Eine Magnetschwebebahn ist zu dessen eigentlichem Produkt, dem herkömmlichen Schienenverkehr, nicht kompatibel. Die Trasse des Transrapids kann von traditionellen Zügen des Rad-Schiene-Systems nicht befahren werden und stellt damit eine Insellösung dar (vgl. Doll 2008). Zudem wird der spurgebundene Verkehr innerhalb Deutschlands hauptsächlich im Mischbetrieb zwischen Personen- und Güterverkehr betrieben. Da der Transrapid im Güterverkehr rein technisch auf leichte Güter (ähnlich wie im Luftverkehr) be-

schränkt ist, kann dieser den herkömmlichen Schienengüterverkehr in keiner Weise substituieren (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006).

Komplexität, Beobachtbarkeit, Erprobbarkeit und Kommunizierbarkeit

Die Adoption der Magnetschwebetechnologie wurde durch die vorhandene Teststrecke im Emsland erleichtert. An dieser haben die entwickelnden Bau- und Industriefirmen Erfahrungen zum Bau einer Transrapidstrecke sammeln können. Die Übernahme des innovativen Verkehrssystems Transrapid bedeutet in erster Linie die Auftragsvergabe zum Bau einer solchen. Das adoptierende Unternehmen, das sich für den Betrieb verantwortlich zeichnet, hätte an der Teststrecke außerdem bereits mit der Ausbildung des notwendigen Personals beginnen können. Das reine Anwenden der Technologie ist damit nicht mehr das eigentliche Problem. Vor der eigentlichen Verwendung der Technologie muss jedoch die notwendige Infrastruktur dazu geschaffen werden. Das Erstellen der Infrastruktur selbst ist wiederum ein komplexer Prozess, der auf jeden Fall eine zusätzliche Schwierigkeit bei der Adoption des Transrapids darstellt.

Die Teststrecke erfüllte außerdem die Anforderungen einer Innovation an Beobachtbarkeit und Erprobbarkeit. Auf dieser und auch auf der ersten kommerziellen Strecke in Shanghai konnten die Vorzüge des Transrapids, die die relative Vorteilhaftigkeit darstellten, beobachtet und erprobt werden (u. a. Geschwindigkeitsrekorde). Sie stellt damit auch eine wesentliche Grundlage für die Kommunizierbarkeit der technologischen Entwicklung dar.

Marktpositionierung

Die Marktpositionierung des Transrapids basiert vor allem auf der „Theorie der Geschwindigkeitslücke“, die zwischen kurzen Reisezeiten im Flugverkehr und langen Reisezeiten im MIV und im Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) noch Platz für ein weiteres Verkehrsmittel sieht (vgl. Uchatius 2012). Distanzen bis 800 km werden demnach für den MIV und den SPFV als zu groß, für den Luftverkehr als zu klein eingeschätzt (vgl. Küffner 2013). Diese Geschwindigkeitslücke ist mit

der Einführung des Hochgeschwindigkeitsverkehrs auf der Schiene jedoch geringer geworden, womit die Marktposition geschwächt wird.

In Ländern ohne eine ähnlich leistungsfähige Schieneninfrastruktur wie in Europa ist die Geschwindigkeitslücke jedoch immer noch vorhanden. Der Transrapid ist zur Bildung einer linearen Verkehrsachse geeignet und kann bei entsprechender Erreichbarkeit in Konkurrenz zum Luftverkehr treten. In mehreren Ländern, unter anderem in den USA und in China (als Weiterführung des Projektes in Shanghai), wurde deshalb der Bau in Erwägung gezogen (vgl. Bartsch 2013). Fehlende Referenzprojekte besonders in Deutschland, wo die Entwicklung maßgeblich vorangetrieben wurde, für den Einsatz im Fernverkehr und hohe Kosten für den Bau der notwendigen Infrastruktur machen die Einführung des Transrapids jedoch auch in solchen Ländern unattraktiv.

Reifegrad der Innovation

Kostenexplosionen bei Neubauten von Häfen, Flughäfen, Eisenbahnstrecken und Autobahnen machen den Neubau von Verkehrsinfrastrukturen in Deutschland zu einem viel diskutierten Thema. Das gilt umso mehr für eine neue Technologie, für deren praktischen Einsatz es zum damaligen Zeitpunkt noch keine Referenzprojekte gegeben hat. Die einzige Erfahrung für den Bau und den Betrieb des Transrapids stellte bis 2004 die Teststrecke im Emsland dar, auf der mit der Typzulassung durch das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) im Jahr 2000 die grundsätzliche Einsatzreife bewiesen wurde (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006). Die chinesische Transrapidstrecke in Shanghai wurde im gesteckten Zeit- und Kostenrahmen realisiert und ist seit 2004 auch im Betrieb. Schach, Jehle und Naumann sehen auch darin einen Beweis für das Erreichen eines für die Diffusion ausreichenden Reifegrades der Technologie (vgl. Schach, Jehle und Naumann 2006).

Wahrgenommenes Risiko

Auch wenn dem Transrapid die kommerzielle Einsatzreife aus technischer Sicht bescheinigt werden kann, ist der Bau und der Betrieb eines Transrapids mit ei-

nem wesentlichen Risiko behaftet. Die baulichen Risiken umfassen genauso wie bei herkömmlichen Infrastrukturprojekten die Bereiche Finanzierung, Baugrund- bzw. Gründungsverhältnisse, Planung, Vergabe, Umfeld, etc. (vgl. Armingier 2014). Im Fall der geplanten Flughafenbindung in München schienen wichtigen Beteiligten die Risiken zu groß zu sein. Die öffentliche Hand sicherte sich gegen eventuelle Mehrkosten durch den Abschluss eines Festpreisvertrages ab, wodurch den finanziell beteiligten Konzernen das Risiko auftretender Mehrkosten aufgebürdet wurde. Auch die Deutsche Bahn war nach Informationen der Zeitung *Die Welt* nicht bereit sich an diesem Risiko maßgeblich zu beteiligen (vgl. Doll 2008). Die Ablehnung der Risikobeteiligung durch die öffentliche Hand und die Deutsche Bahn hat die beteiligten Bauunternehmen dazu gebracht, die Risiken mit einzupreisen. In der Öffentlichkeit wurde diese Risikoeinpreisung als Kostenexplosion wahrgenommen und führte letztendlich zum Aus des letzten deutschen Transrapidprojektes (vgl. Doll 2008). Dieses Verhalten von Deutscher Bahn und öffentlicher Hand offenbart, dass beide Akteure das Risiko als zu hoch wahrgenommen haben.

Aus Betreibersicht fallen zu den baulichen Risiken auch noch die betrieblichen Risiken ins Gewicht. Die Berechnungen zu der Wirtschaftlichkeit von Infrastrukturmaßnahmen beruhen dabei im Wesentlichen auf den prognostizierten Fahrgastzahlen. Deren Entscheidung bei der Verkehrsmittelwahl ist von der individuellen Zahlungsbereitschaft abhängig, die wiederum vom erwarteten relativen Vorteil aus Fahrgastsicht beeinflusst wird. Im Falle des Münchener Projekts hielten Kritiker diesen Vorteil für zu gering und damit die in der Planung verwendeten Fahrgastprognosen von sechs Millionen Fahrgästen pro Jahr für zu optimistisch (vgl. Büchler 2006). Das wirtschaftliche Risiko, ob ein kostendeckender Betrieb möglich gewesen wäre, hätte ebenfalls die Bahn als Betreiber tragen müssen. Doll stellte dazu fest, dass „Anders als sonst im Nahverkehr [...] es keine weiteren staatlichen Zuschüsse gegeben [hätte]“ (Doll 2008).

6.2.2 Umweltbezogene Faktoren

ökonomische Umweltfaktoren

In Deutschland gab es bereits zum Zeitpunkt der Typzulassung des Transrapids durch das EBA eine hohe Nachfrage nach Verkehrsleistungen, die sich in 65,4 Mrd. beförderten Personen im Jahr 2000 widerspiegelt (vgl. BMVBS 2012). Seitdem ist das Aufkommen noch weiter gestiegen. Wie bereits ausgeführt sind jedoch nicht die Endnutzer eines Transportsystems die direkten Kunden der Hersteller. Die Adoptionsentscheidung wird stattdessen von der Politik, ggf. beteiligten Unternehmen und den zukünftigen Betreibern getroffen. Als Betreiber kommen besonders die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) in Deutschland in Frage. Im Jahr 2006 gab es 355 EVU, die hauptsächlich im beförderten Schienenpersonennahverkehr (SPNV) tätig waren. Weniger als 20 von denen waren auch im eigenwirtschaftlich zu betreibenden Fernverkehr tätig (vgl. Bundesnetzagentur 2013).

Das größte EVU ist die Deutsche Bahn, die auch bei der Münchener Flughafenanbindung als Betreiber und Teilinvestor eine wichtige Rolle einnehmen sollte. Die parallel zur Entwicklung des Transrapids stattfindende (technische) Weiterentwicklung des Fernverkehrsangebotes der Deutschen Bahn hat deren Adoptionswillen schwinden lassen. Das Ablehnen der Übernahme von Risiken beim Münchener Transrapid-Projekt durch die Deutsche Bahn bestätigt, dass „Man [...] den Transrapid nie vom Einsatz her gedacht [hat], [sondern] immer nur von den technischen Möglichkeiten her“ (Gäthke 2008). Vorhergegangene Projekte sind zumeist wegen der ungesicherten Finanzierung gescheitert, worin sich die fehlende relative Vorteilhaftigkeit aus Sicht der finanzierenden Akteure widerspiegelt. In Deutschland und auch Europa war der Markt zum Markteinführungszeitpunkt damit schon fast nicht mehr vorhanden.

Der asiatische Markt, auf den die deutschen Hersteller nach erfolgreichem Bau der Flughafenanbindung in Shanghai gehofft hatten, ist nach Einstellung der deutschen Projekte und dem unbefriedigenden, subventionierten Betrieb in Shanghai ebenfalls kleiner geworden. Daran hat auch die Weitergabe der Magnetschwebe-Technologie an chinesische Hochschulen nichts geändert (vgl. Bartsch 2013). Genauso hoffnungsvoll wurde der nordamerikanische Markt gesehen. Insbesondere im

Nordosten der USA, in dem die bestehenden Verkehrssysteme am Aufkommen zu scheitern drohen, gab es bis 2012 Bestrebungen den Transrapid zu etablieren. Um die Marktgröße einzuschätzen kann zumindest als Ansatzpunkt der Investitionsbedarf im herkömmlichen Schienenverkehr gesehen werden, der von der staatseigenen Bahngesellschaft auf über 151 Mrd. US-Dollar geschätzt wird (vgl. A. Kaiser 2014).

Derzeit wird in den USA und in Japan dem Transrapid der *Japan Rail (JR)-Maglev* vorgezogen, der ebenfalls eine Magnetschwebetechnologie darstellt, sich jedoch in wesentlichen Aspekten vom Transrapid unterscheidet. Die Anfänge des JR-Maglev liegen in Japan, wo auch die Erprobung stattfindet sowie erste Bauvorhaben genehmigt wurden (vgl. Spiegel Online 2014). Zu den ersten Erfolgen trägt jedoch die Industriepolitik der japanischen Regierung wesentlich bei, die z. B. einem Maglev-Projekt in den USA finanzielle Förderung zugesichert hat (vgl. A. Kaiser 2014).

Die Marktgröße und die Marktdynamik für ein Verkehrssystem wie den Transrapid werden besonders von dem Druck bestimmt, der auf Politik und Verkehrsunternehmen zur Sicherstellung von Mobilität und Verkehr ausgeübt wird.

Politisch-rechtliche Umweltfaktoren

Die Umsetzung eines Transrapid-Projektes in Deutschland ist, wie bereits in den vorhergegangenen Abschnitten angedeutet, besonders von der politischen Unterstützung abhängig. Der Bau und der Erhalt von Verkehrswegen ist dem Grundgesetz und den Landesgesetzen folgend Aufgabe der öffentlichen Hand, wobei vielfältige Interessen berücksichtigt werden müssen (siehe Abschnitt 2.2). Die Planung der Verkehrsinfrastruktur auf Bundesebene erfolgt im Bundesverkehrswegeplan (BVWP). In Rahmen der Erstellung dieser Planung werden mögliche Projekte hinsichtlich ihres Kosten-Nutzen-Verhältnisses priorisiert und dann entsprechend der erwarteten Kosten und den verfügbaren Mitteln in den BVWP aufgenommen. Nur aufgenommene Infrastrukturprojekte, deren Bedarf festgestellt wurde, haben dann schließlich eine realistische Chance auf die Umsetzung. Damit beeinflusst die Politik die ökonomische Adoptionsumwelt.

Speziell zum Transrapid ist im BVWP 2003 festgehalten, dass der Transrapid in Deutschland gefördert wird: „Die Magnetschwebebahn-technik ist für den Indus-

triestandort Deutschland von herausragender Bedeutung. Daher wird sie auch in Deutschland zur Anwendung kommen. Gegenwärtig sind zwei Strecken in Nordrhein-Westfalen und in Bayern in Planung; die Bundesregierung ist bereit die Projekte, die in eigener Landeszuständigkeit entwickelt werden, zu bezuschussen.“ (BMVBW 2003). Für die Umsetzung und Finanzierung von Transrapid-Projekten sah sich die damalige Bundesregierung also nicht in der Pflicht, sondern schreibt diese Verantwortung den Ländern zu.

Unabhängig von der politisch-rechtlichen Situation bei der Finanzierung von solchen innovativen Infrastrukturprojekten müssen auch noch planungsrechtliche Prozesse beachtet werden. Vor der Erteilung der Erlaubnis zur Projektumsetzung müssen verschiedene Umwelt- und Raumverträglichkeitsprüfungen sowie das Planfeststellungsverfahren durchgeführt werden (vgl. BMVI 2016). Die Dauer dieser Verfahren kann nicht vorausgesagt werden und wird z. B. durch die Qualität und Quantität der Einwendungen von Bürgern oder Interessengruppen beeinflusst (vgl. EBA 2016b). Bis zu einem Planfeststellungsbeschluss können mehrere Jahre vergehen, zumal auch Klagen gegen diesen erhoben werden können.

Allein die zu erfüllenden rechtlichen Voraussetzungen zum Bau der Strecke nötigen potentiellen Adoptoren ein langes Durchhaltevermögen ab. Ist die Strecke erst einmal fertig, müssen streckenseitig noch weitere Zulassungen und Genehmigungen z. B. durch das EBA erfolgen (vgl. EBA 2016b). Für den Betrieb müssen darüber hinaus auch die Fahrzeuge und das Betreiberunternehmen selbst genehmigt/zugelassen werden (vgl. EBA 2016a). Dass diese rechtlichen Hürden zwar hoch, aber nicht unüberwindbar sind, zeigt die Versuchsstrecke im Emsland, die zwischenzeitlich Fahrgäste auf Probefahrten mitnehmen durfte.

Technische und sozio-kulturelle Umweltfaktoren

Die Anfänge des Transrapids sind vor allem geprägt von Erwartungen und Hoffnungen des schnellen, komfortablen Reisens. Die anvisierten Geschwindigkeiten versprachen ein neues Verkehrsmittel, das dem teuren und lauten Luftverkehr Konkurrenz machen könnte. Die Begeisterung in Politik und Bevölkerung für die Technologie und ihre Versprechen trieb große Unternehmen dazu, in die Entwicklung

einsteigen, auch wenn in den achtziger Jahren sich eine gewisse Skepsis breitmachte. Als Symbol der Innovationsfähigkeit und dem Können deutscher Ingenieure sollte der Transrapid das Verkehrsmittel der Zukunft sein und in Deutschland Tausende neuer Arbeitsplätze schaffen. Die Neuartigkeit des Schwebens reichte aus, um eine große öffentliche Akzeptanz und Begeisterung zu schaffen (vgl. Gäthke 2008). Als die Magnetschwebebahn in Deutschland dann endlich die Marktreife erreichte, konnten jedoch viele Hoffnungen auch schon durch die ICE-Züge im herkömmlichen Schienenverkehr erfüllt werden. Die Wahrnehmung des Transrapids als zukunftsweisendes Verkehrsmittel mit technischen Vorteilen gegenüber den ICE-Zügen wurde durch die hohen erwarteten Kosten und die Diskussionen um die Finanzierung und den Nutzen von Transrapid-Projekten gedämpft. Mit dem Unfall eines mit Fahrgästen besetzten Zuges auf der emsländischen Teststrecke hat sich die Wahrnehmung des Transrapids als sicheres Verkehrsmittel weiter verschlechtert, auch wenn der Unfall auf menschliches Versagen zurückgeführt werden konnte (vgl. Uchatius 2012).

6.3 Abwägung und Besonderheiten

Die Entwicklung der Magnetschwebebahn Transrapid hat bis zur Einsatzreife fast 30 Jahre gedauert. Für die ersten Entwicklungsjahre kann mit Hilfe der Theorie der Geschwindigkeitslücke durchaus ein Markt für die Technologie Transrapid gesehen werden, der auf deren Markteinführung wartete (Market-Pull). Je länger die Entwicklung dauerte, desto geringer wurde diese Geschwindigkeitslücke und desto kleiner wurde damit auch der Markt für den Transrapid. Bereits vor dem Erreichen der Einsatzreife muss daher eher von einem unternehmensseitigen Versuch der Technologieimplementierung gesprochen werden (Technology-Push).

Bevor ein Versuch unternommen wird, die Einflussfaktoren in diffusionsfördernd oder -hemmend einzuteilen, muss noch auf mögliche Zusammenhänge zwischen den Faktoren hingewiesen werden. Die qualitative Untersuchung der Einflussfaktoren für die Magnetschwebebahn zeigt, dass die Faktoren nicht ausschließlich getrennt voneinander betrachtet werden sollten. Sowohl die Kompatibilität als auch die Komplexität müssen auch auf das vom Adopter bzw. von der Adoptorengruppe

wahrgenommene Risiko wirken. Für die Deutsche Bahn als potentiellen Betreiber steht die Technologie im Widerspruch zu den bestehenden Produkten. Dieser Widerspruch wirkt sich zwangsläufig auch auf das von der Bahn wahrgenommene Risiko aus.

In der nachfolgenden Tabelle 6.2 sind die Einflussfaktoren entsprechend ihrer Ausgestaltung in diffusionsfördernd oder -hemmend gruppiert. Aus der Tabelle selbst kann wegen der oben erläuterten möglichen Wechselwirkungen zwischen den Faktoren noch keinerlei Rückschluss auf den Diffusionserfolg gezogen werden. Auch kann die Gewichtung der einzelnen Faktoren im Rahmen der Entscheidungsfindung bei verschiedenen Adoptoren unterschiedlich ausfallen.

Tabelle 6.2: Wirkungen der Einflussfaktoren auf die Diffusion des Transrapids

Diffusionsfördernd	Diffusionshemmend
Beobachtbarkeit	relative Vorteilhaftigkeit
Erprobbarkeit	Kompatibilität
Kommunizierbarkeit	Komplexität
Reifegrad	wahrgenommenes Risiko
Marktpositionierung	
<hr/>	
politisch-rechtliche Umwelt	ökonomische Umwelt
	technische Umwelt
	sozio-kulturelle Umwelt

Die geringe Vorteilhaftigkeit gegenüber den Alternativen, fehlende Kompatibilität sowie hohe Hindernisse bei der Adoption (Komplexität) erklären die ablehnenden Haltung der Adoptoren z. B. bei dem Münchener Transrapidprojekt. Alle genannten Einflussfaktoren gestalten das von den Adoptoren wahrgenommene Risiko mit und reduzieren den wahrgenommenen Nutzen einer Adoption.

Diese diffusionshemmenden Wirkungen können weder durch die anderen innovationsspezifischen Faktoren noch durch die positive Einstellung der politisch-rechtlichen Umwelt zum Transrapid ausgeglichen werden, die bereits die Entwicklungsphase der Magnetschwebetechnologie maßgeblich unterstützt hat.

Genauso wie die Ausprägung der relativen Vorteilhaftigkeit hat sich die Unterstützung der politisch-rechtlichen Umwelt beim Transrapid während der Entwicklung verändert. Das gilt auch für die sozio-kulturelle Umwelt, deren Akzeptanz zunächst auch durch die intensive mediale Begleitung der Entwicklung sehr ausgeprägt war, sich durch die langfristige Entwicklung und die hohen Kosten einer tatsächlichen Umsetzung jedoch reduziert hat. Zusammen mit der ökonomischen und technischen Umwelt muss auch die sozio-kulturelle Umwelt zum Zeitpunkt der Markteinführung als diffusionshemmend beurteilt werden.

Abschließend erscheint es nicht verwunderlich, dass die Innovation Transrapid sich bisher nicht durchsetzen konnte, wobei die lange Entwicklungszeit und die währenddessen stattgefundenen Veränderungen das Umfeld für die Innovation deutlich verändert haben. Bereits 1972 hinterfragte Schreiber in einem Beitrag zur Reihe *Wissenschaftler planen die Zukunft* zum Thema Verkehr die Innovation Transrapid: „Wie soll angesichts der Übersetzung des Verkehrswesens durch die stürmische Entwicklung der Luftfahrt, den großzügigen Straßen- und Kanalausbau [...] und die Leistungssteigerung der Eisenbahn durch Elektrifizierung und Verdieselung noch der Bau von besonderen Schnellbahnen, die ohne Zusammenhang mit dem vorhandenen Schienennetz stehen, finanziert und der Verkehr auf ihnen wirtschaftlich betrieben werden?“ (Schreiber 1972).

7 Container im See- und Landverkehr

Die Einführung von Containern als standardisierte Transportbehälter im internationalen Güterverkehr hat diesen grundlegend verändert und die Globalisierung begünstigt.

Zu den Vorläufern des heute üblichen Containers gehören die Plattformwagen mit abnehmbaren Behältern, die bereits im 19. Jahrhundert in Frankreich und Großbritannien verwendet wurden (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Nachdem bereits zuvor einzelne Stahlboxen im amerikanischen Schienenverkehr eingesetzt wurden, nahm die New York Central Railroad 1921 den ersten Linienverkehr auf der Schiene mit Containern zwischen Cleveland und Chicago auf. In den 1920er Jahren schwappte die Containeridee auch nach Europa über, wo dadurch Haus-zu-Haus-Verkehre ermöglicht wurden. 1933 wurde das Bureau International des Conteneurs (BIC) gegründet, dessen Ziel die europaweite Etablierung des Containerverkehrs war. Im zweiten Weltkrieg setzt die amerikanische Armee Conex-Container in ihren Versorgungslinien ein (vgl. Kuhn 2009). Im kommerziellen Einsatz bewährten sich Container zuerst unter dem amerikanischen Unternehmer *Malcom McLean*, der 1956 auch das erste Containerschiff (ein umgebautes Tankschiff der amerikanischen Marine) betrieb (vgl. Kuhn 2009). Mit dem ersten Einsatz des Containerschiffs endet die Inventionsphase des Containers (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Für den Erfolg des Containers im kommerziellen Einsatz berechnete McLean eine kritische Masse von rund 200 Containern, die eine Fahrt von Newark nach Houston rentabel machte. 1957 übernahm er eine andere Reederei, deren Standardfrachter er zu Containerschiffen mit einer Kapazität von jeweils 226 Containern umbauen ließ. Mit diesen konnte er Container erstmals

kommerziell erfolgreich einsetzen. Der Innovationsprozess war damit beendet (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Bis dahin stellte der Containertransport eine Einzellösung dar.

Für die weitergehende Diffusion des Containers musste ein Netzwerk aus Transportlinien und spezialisierten Containerhäfen geschaffen werden, was wiederum eine organisatorische Innovation darstellte (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). In diesem Sinne wird häufig von einem „Containersystem“ als eigentliche, den Container betreffende Innovation gesprochen (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). McLean konnte sich durch das Durchführen von Containertransporten einen wirtschaftlichen Vorteil seinen Konkurrenten gegenüber verschaffen. Um nicht ins Hintertreffen zu geraten, waren diese folglich gezwungen die Innovation selbst zu imitieren (vgl. Kuhn 2009). Schon 1958 verwendeten auch andere amerikanische Reedereien unternehmensspezifische Container. Die langsame und umständliche Umrüstung der Schiffe für den Containertransport und Widerstände von indirekt betroffenen Akteuren brachten die weitere Verbreitung zunächst ins Stocken (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

So wehrten sich Gewerkschaften von Hafenarbeitern, die bis dahin die Be- und Entladung der Stückgutfrachter übernommen hatten, sowohl in den USA als auch in südamerikanischen Ländern gegen die Containerisierung und die automatisierte Verladung. Letztere erforderte zudem Investitionen von den Hafenbetreibern, die jedoch zum Teil das Risiko scheuten (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Ähnlich zurückhaltend verhielten sich die europäischen Reedereien. Erst nachdem 1966 das erste amerikanische Containerschiff in Rotterdam und Bremen festgemacht hatte, zogen europäische Reedereien nach (vgl. Kuhn 2009). 1967 wurden schließlich gemeinsame Container-Standards in Form der International Organization for Standardization (ISO)-Norm 668 von der International Maritime Organization (IMO) beschlossen (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). In den nachfolgenden Jahren haben sowohl die amerikanischen als auch die europäischen Unternehmen den Containerverkehr weiter ausgebaut. Nach und nach wurden so zuerst die Ost-West-Verkehre nach Asien und Australien und dann auch die Nord-Süd-Verkehre containerisiert (vgl. Kuhn 2009).

7.1 Bestimmung des Adoptionsubjektes

Die einleitende historische Betrachtung der Einführung des Containers im Güterverkehr zu Lande und zu Wasser benennt die Akteure, die an der globalen Entscheidung zur Übernahme des Containersystems beteiligt waren. Zu den entscheidenden Akteuren gehörten:

- Reedereien
- Häfen
- Eisenbahnen
- Fuhrunternehmen

Letztere zeichnen sich für den Zu- und Ablauf der Güter zu den Häfen verantwortlich (Seehafenhinterlandverkehr). Als indirekte Adoptoren sollten auch die Endkunden, d. h. die Versender oder Empfänger, betrachtet werden, die den eigentlichen Markt bilden.

In den folgenden Abschnitten wird die Innovation *Containersystem* hinsichtlich der Einflussfaktoren für eine erfolgreiche Innovation unter Berücksichtigung der verschiedenen Adoptionsubjekte analysiert.

7.2 Untersuchung der Einflussfaktoren

7.2.1 Innovationsspezifische Merkmale

Relative Vorteilhaftigkeit

Die Einführung von Containern hat vor allem im Seeverkehr seine Vorteilhaftigkeit gegenüber dem herkömmlichen Stückgutverkehr bewiesen. Neben der Stapelbarkeit der Container sowohl bei Transport als auch bei Lagerung ist vor allem eine Verkürzung der Liegezeit in den Häfen für die Reeder von Bedeutung. Waren beim Stückgutverkehr noch lange Liegezeiten verbunden mit langen Lagerzeiten in den Häfen üblich, konnte der Umschlag von Containern schnell mechanisiert werden.

Die einheitliche Gestaltung der Container hat ein schnelleres Be-, Um- und Entladen von Containern ermöglicht, wodurch die Rundreisezeiten reduziert werden konnten. In der Folge verringerten sich mit den Liegekosten in den Häfen auch die gesamten Schiffskosten, welches den Betreibern einen Wettbewerbsvorteil eröffnete (vgl. Funck 1970). Diese Wirkungskette zeigt die nachfolgende Abbildung 7.1.

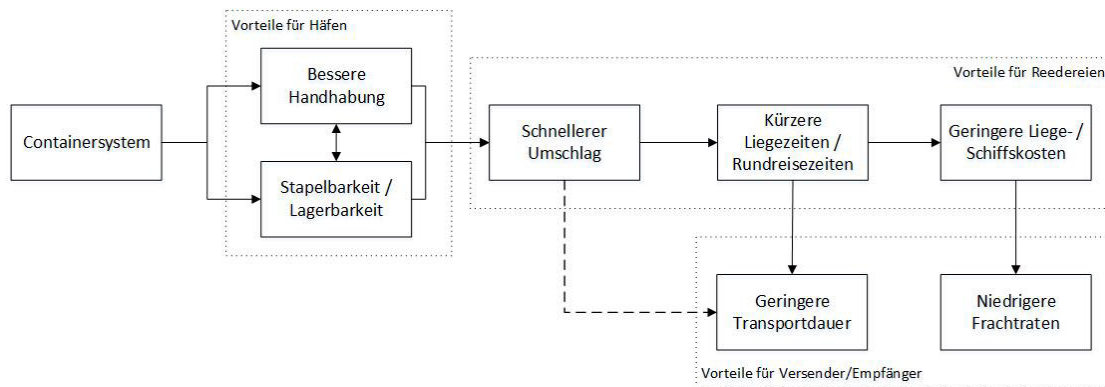


Abbildung 7.1: Wirken der Vorteilhaftigkeit bei Adoption des Containersystems (eigene Darstellung)

Die relative Vorteilhaftigkeit des Containersystems aus Sicht der Reedereien wurde lange von den hohen Investitionskosten in entsprechende Schiffe getrübt. Kurz nach dem zweiten Weltkrieg gab es außerdem einen großen Bestand herkömmlicher Stückgutfrachter, deren Amortisation noch nicht abgeschlossen war (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Trotz möglicher Umrüstungen hat der hohe Bestand solcher Frachtschiffe die Diffusion des Containers deutlich verlangsamt.

Durch die niedrigeren Schiffskosten haben sich die Frachtraten für Containertransporte vergünstigt. Besonders bemerkenswert ist die Wertunabhängigkeit der neuen Frachtraten. Zusammen mit günstigeren Versicherungsraten wurde die Vorteilhaftigkeit des Containersystems aus Sicht der Kunden (Versender bzw. Empfänger) als indirekte Adoptoren hervorgehoben. Die günstigeren Versandkonditionen entstehen unter anderem durch die Möglichkeit der Containerbeladung direkt beim Versender. Einmal verschlossen und plombiert kann die Ladung bis zum Empfänger unberührt bleiben, womit ein geringes Beschädigungs- und Diebstahlrisiko einhergeht (vgl. Funck 1970). Die Handhabung von Containern beim Versender

und Empfänger erfordert dazu nur geringe Investitionen (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Für Haus-zu-Haus-Verkehre von in Containern transportierten Gütern müssen diese neben (See-)Schiffen auch auf landgebundenen Verkehrsträgern (Schiene, Straße) befördert werden können. Spätestens mit der entsprechenden ISO-Norm wurde die multimodale Einsatzfähigkeit sichergestellt. In Verbindung mit dem schnellen Umschlag stellt diese Eigenschaft einen weiteren wesentlichen Vorteil gegenüber bis dahin bekannten Formen von Ladungsträgern. (z. B. Wechselpritschen, Bahncontainern) (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Für die Häfen bedeutete das vermehrte Aufkommen von Containern dagegen große notwendige Investitionen für Verladebrücken und andere Spezialgeräte. Gleichzeitig konnten aber auch Einsparungen generiert werden, weil die Container selbst als Lagerstätten fungieren können und damit keine Lagerhallen vorgehalten werden müssen (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Diese Investitionen bedeuten eine Substitution menschlicher Arbeit durch Kapital, indem die arbeitsintensiven Be- und Entladungsvorgänge teilautomatisiert wurden (vgl. Kuhn 2009). Während in vielen Häfen Gewerkschaften deshalb die Adoption der entsprechenden Geräte zum Containerhandling stoppten, konnten andere Häfen daraus einen Vorteil für sich ziehen (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Kompatibilität

Der Transport eines einzelnen Containers bedeutete für Reedereien und Spediteure nichts anderes als den Transport eines großen Stückgutes. Erst mit der Verwendung einer Vielzahl von Containern zeigt sich die geringe Kompatibilität von Containern mit dem bis dahin angewandten Stückgutverkehr. Die Bauweise der Stückgutfrachter erlaubte nicht ohne weiteres, die Vorteile des Containertransports hinsichtlich Stapelbarkeit und schnellem Umschlag zu nutzen. Die genannten Probleme hinsichtlich der Kompatibilität des Containersystems bei den Reedereien können auch auf die Häfen übertragen werden, deren herkömmliche Strukturen und technischen Anlagen den Anforderungen des Containerumschlags nur bedingt entsprachen (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Auch auf den weiterbefördernden Verkehrsträgern war der Transport von Containern nicht von Anfang an möglich. Anfangs musste sich z. B. die Deutsche Bundesbahn für eine Technik entscheiden, da bereits vor der Containerisierung des Seeverkehrs ein eigenens Großbehältersystem eingeführt wurde. Im Straßenverkehr waren bis dahin Wechselpritschen zur Auslastungsoptimierung eingeführt worden. Die Reedereien, die von diesen Systemen nicht profitierten, förderten schließlich die Diffusion des Containersystems, indem sie dem Vorbild McLeans folgend den Kraftverkehrsunternehmen entsprechende Chassis für den Containertransport zur Verfügung stellten (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Komplexität

Das Containersystem wird von Obermaier, Müller und Braun als komplexe Innovation eingestuft, weil die rein technische Innovation des Containers selbst ohne eine umfassende organisatorische Prozessinnovation nicht zu einem Erfolg geworden wäre. Die Komplexität der organisatorischen Innovation Containersystem entsteht durch die erstmalige verkehrsträgerübergreifende Betrachtung des Haus-zu-Haus-Transports, bei dem viele Akteure zum Erfolg des Transportprozesses beitragen. Die verstärkte Integration aller Akteure in den Transportprozess erforderte von Spediteuren bzw. Reedereien ein organisatorisches Umdenken. In diesem mussten neuerdings auch die Belange nachgeordneter Transporteure im Sinne eines optimalen Ergebnisses aus Sicht des Verladers berücksichtigt werden.

Der Schwierigkeitsgrad der Nutzung von Containern aus technischer Sicht war für die Beteiligten der Transportkette dabei unterschiedlich hoch. Für Versender und Empfänger sowie für Frachtführer auf der Straße und der Schiene ist die Verwendung von Containern relativ leicht. Zum Be- und Entladen von Containern auf einen entsprechenden Lkw-Auflieger bedarf es in der Regel kein außergewöhnliches Equipment. Der Ladungsvorgang in Häfen erforderte dagegen selbst technologische Neuerungen, die die einfache Adoption von Containern erschwerten. Für die transportierenden Reedereien bedeutete die Verwendung von Containern zunächst die Notwendigkeit des Umbaus und Umrüstens der bestehenden Flotte bzw. des Neukaufs von entsprechend spezialisierten Schiffen.

Beobachtbarkeit, Erprobbarkeit und Kommunizierbarkeit

Die Vorteile des Containersystems aus Sicht der Reedereien wurden mit dem Erfolg des ehemaligen Spediteurs McLean deutlich sichtbar. Die verkürzten Umlaufzeiten, die dieser mit dem ersten Containerschiff „Ideal X“ zwischen Newark und Houston erreichte sowie die deutliche Reduzierung der Beladungskosten von 5,83 US-Dollar (USD) pro Tonne auf lediglich 0,16 USD pro Tonne zeugten von dem Potential des Containersystems (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Auch wenn McLeans Versuche in erster Linie dem Selbstzweck der Sicherung von Wettbewerbsvorteilen dienten, führte dessen Erfolg mit weiteren Schiffen schnell zu Nachahmern, die die ökonomischen Vorteile damit selbst erprobten. Die wesentliche Kommunikation der Vorteile des Containersystems übernahm dann schließlich die US-Armee, die mit McLean langfristige Verträge für die Truppenversorgung in Übersee schloss (vgl. Kuhn 2009). Die Kommunizierbarkeit der Vorteile war damit im besonderen Maße gegeben.

Reifegrad der Innovation

Aus Sicht der Reedereien waren bereits die ersten Container des Unternehmers McLean ausgereift. Diese waren 35 ft lang und entsprachen damit noch nicht den heute üblichen Standardcontainern nach ISO-Norm (vgl. Kuhn 2009). Der Transport dieser 35-ft-Container mit eigenen Lkw-Chassis und entsprechend ausgerüsteten Schiffen hat die Einsatzreife bereits bei der ersten Anwendung bewiesen. Auch die Imitatoren des Containersystems mit ihren eigenen unternehmensspezifischen und von der später eingeführten ISO-Norm abweichenden Containergrößen verwendeten diese erfolgreich im weltweiten Linienverkehr.

Für die angefahrenen Häfen war der Reifegrad der Innovation Container damit ebenfalls bereits ausreichend groß zur Adoption und damit zur Errichtung einer entsprechenden Infrastruktur. Mit der Einführung der ISO-Norm vereinfachte sich das Containerhandling weiter. Der mechanisierte Umschlag von Containern wurde damit begünstigt, der Reifegrad der Innovation wurde weiter gesteigert. Gleichzeitig wurden auch für den landgebundenen Zu- und Ablaufverkehr der Häfen Planungssicherheit geschaffen. Die ISO-Norm ermöglichte darüber hinaus die Bil-

dung eines ergänzenden Marktes bei der Reederei-unabhängigen Bereitstellung von Containern.

Wahrgenommenes Risiko

Für viele amerikanische Reedereien waren die hohen notwendigen Investitionen in Schiffe und eine ausreichende Anzahl von Containern zunächst ein Hemmnis bei der Adoption des Containersystems (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Durch die hohen notwendigen Investitionen stieg der Fixkostenanteil der Reedereien deutlich an, wodurch die Auslastung wichtiger wurde. Das Auslastungsrisiko lag vollständig bei den Reedereien. In Europa, wo die Diffusion um Jahre verzögert stattfand, halfen sich die Reedereien durch Kooperationen zur Investitions- und Risikoteilung (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Für die Häfen stellte sich dagegen vor allem in der Anfangsphase die Frage, ob sich das Containersystem unter den Reedereien durchsetzen würde. Die hohen Investitionskosten in Umschlagtechnik haben amerikanische Häfen deshalb zum Teil an die nutzenden Reedereien weitergegeben (vgl. Kuhn 2009). Das von den europäischen Häfen wahrgenommene Risiko bei der Adoption des Containersystems, d. h. bei der Anschaffung neuartiger Hafenanlagen, war sehr unterschiedlich. Einige Häfen (z. B. Rotterdam) sicherten sich zunächst durch Absprachen mit Reedereien ab, während andere Häfen (z. B. Hamburg) sich auf das prognostizierte Container-Aufkommen verließen (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Für die Eisenbahnen in Europa, die bereits Verkehre mit besonderen Transportbehältern durchführten, war die Umstellung vor allem durch die Konkurrenz zum Straßengüterverkehr riskant. Für die häufig genannte Entfernung von über 300 km, ab der der Gütertransport auf der Schiene einschließlich Vor- bzw. Nachlauf meist günstiger ist als der Transport ausschließlich per Lkw, musste sich zunächst das tatsächliche Aufkommen einstellen (vgl. Kuhn 2009). Die langsame Reaktion veranlasste Reedereien und auch Hafengesellschaften dazu, sich an der Organisation und Durchführung von mit Containern beladener Züge ins europäische Hinterland zu beteiligen (vgl. Kuhn 2009).

Aus heutiger Sicht scheint das wahrgenommene Risiko bei der Adoption des Con-

tainersystems für die meisten Beteiligten überschaubar gewesen zu sein. Als sich eine ausreichend große Anzahl von Reedereien zur Containerschiffahrt bekannten und die Standardisierung in Aussicht gestellt wurde, hatte sich das „Lock-In“-Risiko so stark reduziert, dass sich Reedereien und Häfen genauso wie der Seehafenhinterlandverkehr der weiteren Diffusion nicht mehr entgegenstellen konnten (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Marktpositionierung

Eine Positionierung des Containersystems am Verkehrsmarkt ist nicht erfolgt. Der im Verkehrsmarkt tätige Unternehmer McLean hat in sein eigenes Unternehmen das Containersystem eingefügt, um diesem Vorteile im Wettbewerb mit anderen Reedereien zu verschaffen. Gleichzeitig hat er die vertikale Vernetzung seines Unternehmens vorangetrieben, in dem er im Vor- und Nachlauf zu und vom Hafen ebenfalls Container als Ladungsträger etablierte. Eine Weitergabe/Verkauf der Technologie war nicht in seinem Interesse, ein Verkauf damit ausgeschlossen. Die Diffusion erfolgte schließlich, im Sinne Schumpeters (vgl. Abschnitt 4.1), durch die Bemühungen konkurrierender Reedereien, diese Wettbewerbsvorteile auszugleichen (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

7.2.2 Umweltbezogene Faktoren

Ökonomische Umweltfaktoren

Zum Zeitpunkt der erstmaligen kommerziellen Verwendung von Containern kaum zehn Jahre nach Ende des zweiten Weltkriegs begann eine Phase der Erholung für die Weltwirtschaft. 1948 wurden weltweit Güter im Wert von 59 Mrd. USD exportiert, 1953 bereits im Wert von 84 Mrd. USD und 1963 für über 157 Mrd. USD (vgl. WTO 2015). Zusammen haben die USA und Europa weit über die Hälfte des Warenwertes exportiert. Das Weltwirtschaftswachstum war damit für die Diffusion des Containersystems, welches den beteiligten Unternehmen viele ökonomische Vorteile bringt, ein begünstigender Faktor.

Der wachsende Exportmarkt bescherte den Spediteuren und Reedereien die Möglichkeit zu expandieren. In diesem wirtschaftlichen Umfeld mit viel Konkurrenz brachte den einführenden Unternehmen die Containerisierung der Güter einen wichtigen wirtschaftlichen Vorteil. Die Vielzahl an Unternehmen erlaubte das Eingehen von Kooperationen bzw. Fusionen, um die erforderlichen Investitionen zu stemmen. Diese Investitions- und Risikoteilung wurde besonders in Europa umgesetzt, wo z. B. *Hapag* und der *Norddeutsche Lloyd* eine gemeinsame Containerlinie gründeten (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Die guten Zeiten für Reedereien bedeuteten gleichzeitig auch gute Zeiten für die angefahrenen Häfen, in denen die Exportgüter umgeschlagen wurden, und die somit weiter investieren konnten.

Einige Häfen profitierten darüber hinaus von der Entscheidung der US-Armee, auch im Vietnam-Krieg weiter Container bei der Versorgung der Truppen in Übersee, besonders in Vietnam, einzusetzen. Als erster großer Nachfrager für Containertransporte brachte die US-Armee damit McLean als erstem großen Anbieter solcher Transporte eine wirtschaftliche Absicherung seiner Investitionen (vgl. Kuhn 2009).

Politisch-rechtliche Umwelt

Die politisch-rechtliche Adoptionsumwelt in den USA begünstigte und behinderte die Innovation Containersystem gleichermaßen, in dem die Anschaffung konventioneller Tanker und Stückgutfrachter bis in die 1960er Jahre subventioniert wurde (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Für den ehemaligen Fuhrunternehmer McLean war das auf der einen Seite ein Glücksfall, da er so günstig Schiffe kaufen konnte, mit denen er seine Idee von einem containerisierten Gütertransport verwirklichen konnte. Auf der anderen Seite haben auch andere etablierten Reeder die Möglichkeit der günstigen Flottenerweiterung ergriffen, was Investitionen in das Containersystem zunächst verhinderte (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008).

Gleichzeitig stellten sich vielerorts Hafengewerkschaften gegen die Containerisierung, da die anstehende Substitution von menschlicher Arbeit durch Kapital in Form neuer Umschlagtechnik Arbeitsplätze in den Häfen gefährdete (vgl. Kuhn

2009). An Seehäfen mit starken Gewerkschaften und entsprechendem politischen Einfluss konnte damit die Anschaffung von Containerumschlaganlagen zumindest vorläufig verhindert werden (z.B. in Venezuela).

In Deutschland befasste sich die Politik weniger mit dem Schiffsverkehr als mit dem Weitertransport der Container im Seehafenhinterlandverkehr. Mit einem Kabotageverbot im Binnenverkehr für Container von ausländischen Reedereien wurde zumindest der Vorteil der schnellen Umschlagszeiten nach Deutschland geschmälert (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Dennoch wurde die Diffusion des Containersystems auch unterstützt. Die Deutsche Bundesbahn führte einen Sondertarif ein und Wirtschaftsexperten forderten eine verkehrspolitische Förderung zum Bau von Containerschiffen und zur Errichtung von Containerumschlaganlagen in Häfen und im Binnenland sowie die Bereitstellung von Schienentransportfahrzeugen für Container (vgl. Funck 1970).

Technische und sozio-kulturelle Umweltfaktoren

Die bisherige Analyse hat gezeigt, dass vor allem die Reedereien als produkteinführende Unternehmen sowie die Häfen sich umstellen mussten. Für den Versender bzw. Empfänger veränderte sich durch den Einsatz nur wenig. Die Be- und Entladung des Containers auf dem Firmengelände entspricht dem Aufwand der Beladung eines Lkws im traditionellen Stückgutverkehr. Die geringeren Frachtraten mussten zu einer entsprechend positiven Wahrnehmung des Containers bei den Verladern führen. Für die primären Adoptoren der Innovation, die Reedereien, stand die Produktwahrnehmung in einem betriebswirtschaftlichen Kontext. Die notwendigen Investitionen in Schiffe und Container selbst mussten sich durch geringere Reisezeiten, etc. amortisieren. Die Wirtschaftlichkeit der Verwendung von Containern im Güterverkehr hat der Vorreiter McLean gezeigt. Für Innovationsimitatoren sollte damit ein positive Produktwahrnehmung gewährleistet gewesen sein.

Aus Sicht der amerikanischen Häfen war die Produktwahrnehmung dagegen nicht ganz so positiv. Das Rückverlagern der Investitionsrisiken auf die Reedereien in Amerika zeugt von einer gewissen Skepsis gegenüber der Durchsetzungsfähigkeit

des innovativen Containersystems (siehe *Wahrgenommenes Risiko*). Die Zurückhaltung bei den notwendigen Investitionen war jedoch nicht nur auf die Investitionsrisiken zurückzuführen, sondern auch auf die geringe Akzeptanz der neuen Technik bei den Gewerkschaften. Dabei stand jedoch nicht die Technik selbst im Fokus der Ablehnung, sondern die Folgen des Technikeinsatzes. Zu größeren Streiks von Hafengewerkschaften ist es Mitte der 1960er an der amerikanischen Ostküste und in London gekommen (vgl. Kuhn 2009).

7.3 Abwägung und Besonderheiten

Die vorausgegangene Analyse der Ausprägung der einzelnen Einflussfaktoren lässt die in Tabelle 7.1 vorgenommene Einordnung zu:

Tabelle 7.1: Wirkungen der Einflussfaktoren auf die Diffusion des Containersystems

Diffusionsfördernd	Diffusionshemmend
relative Vorteilhaftigkeit	Kompatibilität
Beobachtbarkeit	Komplexität
Erprobbarkeit	
Reifegrad	
wahrgenommenes Risiko	
ökonomische Umwelt	technische Umwelt
politisch-rechtliche Umwelt	sozio-kulturelle Umwelt

Die Merkmale der Innovation haben genauso wie auch die Umgebung die Diffusion des Containersystems begünstigt. Die Einführung des Containersystems hat zu zwei wesentlichen Effekten geführt: Zum einen hat die Verwendung von Containern zu einer Homogenisierung und Unitarisierung der Ladung geführt (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Zum anderen ist ein Intermodalisierungseffekt aufgetreten, indem der Containertransport als durchgehende, intermodale Transportkette organisiert wurde (vgl. Obermaier, Müller und Braun 2008). Aus diesen Effek-

ten entstand für die Anwender ein wettbewerbsrelevanter Vorteil, der auch von anfangs fehlende Kompatibilität und großer organisatorischer Komplexität nicht aufgehoben wurde. Die Beobachtbarkeit dieses Wettbewerbsvorteil hat schließlich die Diffusion durch Imitation begünstigt.

Während die Adoption des Systems unter den einzelnen Reedern auch von der Struktur der bestehenden Flotte (Amortisationszeiten) beeinflusst wurde, gab es bei den Häfen Unsicherheiten, ob sich der Containerverkehr wirklich durchsetzen würde. Erst mit einer wachsenden Zahl der verwendenden Reedereien konnten sich die Häfen zu Investitionen durchringen und den Widerstand von Gewerkschaften überwinden. Aus Sicht der Häfen ist das Containersystem damit ein Netzeffektgut, dessen Attraktivität mit steigender Verbreitung unter den Reedereien steigt. Die Reedereien agierten damit von Beginn an als Innovationspromotoren, die auf die Durchsetzung des Containersystems drängten. Die Häfen, die für das Handling eigene (Prozess-)Innovationen durchsetzen mussten, wurden erst zu Promotoren als sie begannen, den Seehafenhinterlandverkehr aufgrund der zögerlichen Haltung der Eisenbahnen mitzugestalten.

Nach Kuhn 2009 hat die Einführung des Containers das Transportsystem in vielerlei Hinsicht beeinflusst. Im Seeverkehr sind neue Schiffstypen entstanden, die auch Häfen ohne nennenswertes eigenes (Container-)Aufkommen anfahren. Im Seeverkehr hat sich damit ein Hub-and-Spoke-System durchgesetzt. Die kapitalintensive Einführung des Systems hat zu einer Marktberreinigung geführt, während der kleine Unternehmen aufgegeben haben, aufgekauft wurden oder fusionierten. Seit Beginn der Containerisierung wird der Seeverkehr dadurch von immer weniger Reedereien durchgeführt. Eine derartige horizontale Marktintegration wurde durch eine vertikale Integration ergänzt, mit der die Unternehmen Produktversprechen (z. B. Pünktlichkeit der Lieferung) sicherstellen wollten. Durch die immer weitergehenden Versuche dieser Unternehmen, Skaleneffekte zu generieren, müssen die Häfen immer weiter investieren, um den immer größer werdenden Schiffen gerecht zu werden. Das Resultat sind kostengünstigere, sicherere und schnellere Transporte, durch die das Weltwirtschaftswachstum der vergangenen Jahrzehnte erst ermöglicht wurde (vgl. Kuhn 2009).

Der (standardisierte) Container im See- und Landverkehr ist eine erfolgreiche In-

novation, dessen Diffusion inzwischen weit fortgeschritten ist. Der Containerisierungsgrad des Hamburger Hafens zeigt beispielhaft den Verlauf der Verbreitung von Containern im internationalen Seeverkehr (vgl. Abbildung 7.2). Bis zum Abschluss des Diffusionsprozesses sind über 40 Jahre vergangen, in denen der Containerverkehr den Stückgutverkehr nahezu vollständig verdrängt hat. Der Diffusionsverlauf entspricht ziemlich genau dem in der wirtschaftswissenschaftlichen Theorie angenommenen S-Kurven-Verlauf (vgl. Kapitel 4).

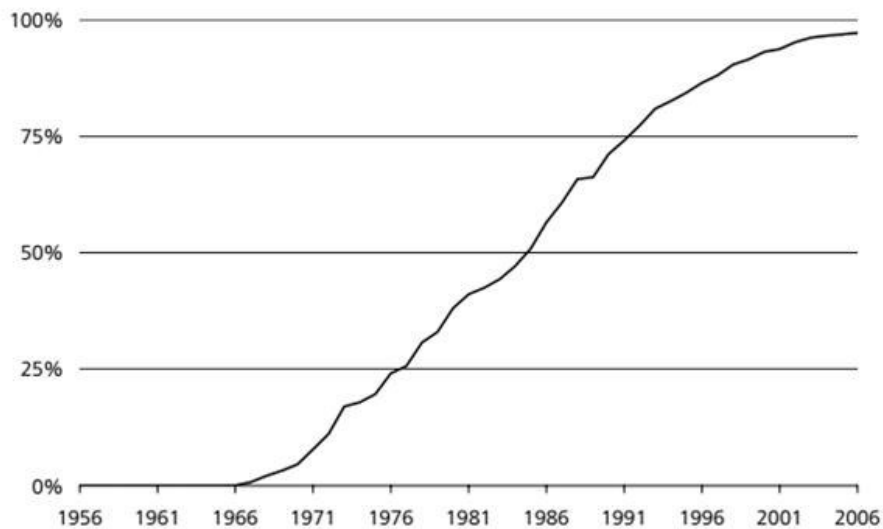


Abbildung 7.2: Containerisierungsgrad des Hamburger Hafens 1956–2006
(Abbildung aus Obermaier, Müller und Braun 2008)

Mit der nahezu vollständigen Verdrängung des Stückgutverkehrs ist die Innovation „Container“ sowohl als radikal als auch als disruptiv zu bezeichnen. Für die Häfen bedeutete sie einen weitreichende Wandel, der das bestehende Geschäft des Ladens von Schiffen sich grundlegend verändert hat. Gleichzeitig ist das Containersystem eine disruptive Innovation, mit der ein Quereinsteiger (der ehemalige Spediteur McLean) den Güterverkehr neu erfunden hat. Damit stellt das Containersystem eine „unscheinbare, in ihrer Wirkung [...] revolutionäre Erfindung dar, deren Ausbreitung sich aber evolutionär vollzog“ (Obermaier, Müller und Braun 2008). Daneben hat sich gezeigt, dass ein Übernehmen des Containersystems für einige Adoptoren (insbesondere die Häfen) mit der fortschreitenden Verbreitung

der Innovation attraktiver geworden ist. Der Container ist damit vor allem ein Netzeffektgut.

8 Autonomes Fahren

Mit der fortschreitenden Verbreitung des Automobils in den USA Anfang des 20. Jahrhunderts sind dort die Unfallzahlen stark gestiegen. Als Hauptursache wurde das Fehlverhalten vieler Autofahrer ausgemacht. Eine Chance auf das Beheben dieser Fehlerquelle wurde in der Automatisierung des Straßenverkehrs gesehen, auch wenn die dazu notwendigen Technologien noch nicht vorhanden waren (vgl. Minx und Dietrich 2015).

Die technologischen Grundlagen für das autonome Fahren wurden 1914 durch die ersten Autopiloten in der Luftfahrt¹ und die Entwicklung der Radiotechnik gelegt. Die ersten Anfänge des autonomen Fahrens wurde mit diesen Technologien in ferngesteuerten Autos gemacht. Zwar entspricht eine Fernsteuerung nicht dem heutigen Verständnis eines vollautomatisierten Straßenverkehrs, doch in den USA galt das über Leitdrähte oder Radiowellen ferngesteuerte Reisen bis 1958 als Zukunft des Autofahrens. Zwischen dem ersten der breiten Öffentlichkeit bekanntgewordenen Modell eines automatischen Highways des amerikanischen Konzerns General Motors (GM) auf der Weltausstellung 1939 in New York und dem ersten erfolgreichen Versuch in der Realität vergingen jedoch noch fast 20 Jahre (vgl. Kröger 2015). Bevor das erste Testfahrzeug von GM 1958 leitdrahtgesteuert auf einer Teststrecke unterwegs war, wurde 1954 mit der „Cruise Control“ (Tempomat) eine erste Anwendung des autonomen Fahrens in den Markt eingeführt (vgl. Kröger 2015).

In den nachfolgenden 20 Jahren wurde die Vision vom ferngesteuerten Fahren wegen der technischen Komplexität zurückgestellt (vgl. Minx und Dietrich 2015). Stattdessen wurde in Industrie und Forschung auf eine weitere Verbesserung des

¹Lawrence B. Sperry entwickelte einen gyroskopischen „Airplane Stabilizer“. Gleichzeitig präsentierte John Hays Hammond ein System zur automatischen Kursstabilierung (vgl. Minx und Dietrich 2015).

Automobils gesetzt, unter anderem durch neuartige Fahrerassistenzsysteme (FAS), die aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen konnten. Zunächst wurde 1978 das Antiblockiersystem ABS eingeführt (vgl. Bengler u. a. 2012). In den 80er Jahren ist die Antriebsschlupfregelung dazugekommen (vgl. Minx und Dietrich 2015).

Während FAS von den Automobilherstellern weiterentwickelt und zur Einsatzreife gebracht wurden, entwickelten parallel dazu Forschungseinrichtungen autonome Fahrzeuge. So gelang es japanischen und amerikanischen Forschern in dieser Zeit erstmals Fahrzeuge mit Hilfe von Kameraaufnahmen und computergestützter Bildverarbeitung autonom auf Teststrecken fahren zu lassen (vgl. Kröger 2015). In Europa fuhren 1994 erstmals Testfahrzeuge der Universität der Bundeswehr nur mit Hilfe visueller Informationen vollständig autonom über deutsche Autobahnen (vgl. Vieweg 2015).

Visuelle Informationen werden auch heute noch in FAS verwendet, die zusammen mit den Daten anderer Sensoren (z. B. Radar) sowohl die Quer- als auch die Längsführung des Fahrzeugs beeinflussen (z. B. Abstandsregler und Spurhalteassistent). Die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen wird dementsprechend von der Entwicklung marktreifer FAS mit immer weitergehenden Eingriffsrechten vorangetrieben. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) differenziert den Begriff des autonomen Fahrens je nach Umfang der Automatisierung, d. h. nach dem Ausmaß der eingesetzten FAS (vgl. Abbildung 8.1).

Je mehr FAS gleichzeitig verwendet werden, desto höher ist der Automatisierungsgrad einzustufen. Je höher der Automatisierungsgrad, desto stärker ist nicht nur die Koordination sondern auch die Verknüpfung von Längs- und Querführungsassistenten (vgl. Bengler u. a. 2012). Die definierten Stufen der Automatisierung beinhalten nach wie vor die Möglichkeit, dass ein Fahrer die Kontrolle des Fahrzeugs selbst übernimmt. Vollautonomes Fahren ist auf diese Möglichkeit nicht mehr angewiesen und stellt die vollständige, während der Fahrt unumkehrbare Automatisierung dar.

Heute sind nicht mehr nur Testfahrzeuge von Forschungseinrichtungen im auf den Straßen unterwegs. Vielmehr beteiligen sich inzwischen sowohl branchenfremde IT-Konzerne als auch etablierte Autohersteller an der Entwicklung autonomer Fahr-

Nomenklatur	Fahraufgaben des Fahrers nach Automatisierungsgrad	Automatisierungsgrad
Vollautomatisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall <ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen • Vor dem Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf • Erfolg dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt • Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen 	
Hochautomatisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen <ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen • Bei Bedarf wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert • Systemgrenzen werden alle vom System erkannt. Das System ist nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeizuführen 	
Teilautomatisiert	Das System übernimmt Quer- und Längsführung (für einen gewissen Zeitraum oder/und in spezifischen Situationen) <ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen • Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein 	
Assistiert	Fahrer führt dauerhaft entweder die Quer- oder die Längsführung aus. Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt <ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen • Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein 	
Driver only	Fahrer führt dauerhaft (während der gesamten Fahrt) die Längsführung (Beschleunigen/Verzögern) und die Querführung (lenken) aus	

Abbildung 8.1: Grade der Automatisierung und ihre Definition
(Abbildung aus Gasser u. a. 2014)

zeuge (vgl. Grünweg 2013). Am weitesten fortgeschritten mit der Erprobung des autonomen Fahrens ist derzeit wohl der Internetkonzern *Alphabet* (früher *Google*). Dessen Testfahrzeuge sind bereits seit mehreren Jahren auf amerikanischen Straßen unterwegs und haben dabei bereits über 1,6 Mio. km zurückgelegt (vgl. Minx und Dietrich 2015). Der Automobilhersteller *Daimler* beschränkt sich in seinen Entwicklungsbemühungen nicht mehr nur auf den Personenverkehr. Der erste Lkw mit Autobahn-pilot ist seit 2015 in Nevada im Testbetrieb (vgl. Grünweg 2015).

Auch wenn das vollautomatisierte bzw. autonome Fahren außerhalb des Testbetriebs derzeit noch nicht möglich ist, wird durch den Einsatz von FAS das teilautomatisierte Fahren bereits realisiert (z. B. in Staus). Für das vollautomatisierte Fahren gibt es jedoch bereits verschiedene Visionen zu dessen Einsatz. Zu diesen gehören nach Wachenfeld, Winner u. a. 2015:

- **Autobahnautomat (Autobahnpilot)**
Übernahme der Kontrolle über das Fahrzeug auf Autobahnen durch Fahrerboter, ohne Überwachung durch den Fahrer. Nach BASt handelt es sich hier um ein vollautomatisiertes Fahren (vgl. Wachenfeld, Winner u. a. 2015).
- **Valet-Parken**
Selbständige Abstellung eines Fahrzeugs, nachdem der Fahrer dieses bereits verlassen hat. Die Abstellung erfolgt in einem festgelegten Gebiet, bei dem kein Parksuchverkehr stattfindet (vgl. Wachenfeld, Winner u. a. 2015).
- **Vollautomat**
Vollautomatisiertes Fahrzeug, dessen Kontrolle im Bedarfsfall vom Fahrzeugführer übernommen wird. Das kann z. B. in noch nicht erfassten Baustellen der Fall sein (vgl. Wachenfeld, Winner u. a. 2015).
- **Vehicle-on-Demand**
Vollständig autonom operierende Fahrzeuge, die selbstständig mit Fahrgästen oder Gütern unterwegs sind. Fahrzeuginsassen haben keine Eingriffsmöglichkeit außer der Fahrtzielbestimmung und des Herbeiführens eines Nothalts (Safe-Exit) (vgl. Wachenfeld, Winner u. a. 2015).

Diese Szenarien bauen vom Prinzip her aufeinander auf, indem zunächst die Technologie in den vermeintlich einfachsten Verkehrssituationen (Autobahn) und räumlich begrenzten Situationen (Valet-Parken) angewendet wird. Es spiegelt damit ein evolutionäres Einführungszenario des autonomen Fahrens wider. Dies entspricht auch der immer weitergehenden Verwendung von FAS, die letztendlich das autonome Fahren ermöglichen (vgl. Minx und Dietrich 2015). Eine derartige Einführung entspricht dem Regelvorgehen der etablierten Autohersteller, deren Produkte ohne räumliche Einschränkung nutzbar sein sollen (vgl. Minx und Dietrich 2015).

Für IT-Unternehmen scheint dagegen ein anderes revolutionäres Einführungszenario typischer: Eine disruptive Diffusion, bei dem das autonome Fahren die Individualmobilität in kürzester Zeit grundsätzlich verändert (vgl. Beiker 2015). Die begrenzte Anwendung der Technologie in definierten Einsatzgebieten wird mit der Markteinführung aufgehoben und ausgeweitet (vgl. Minx und Dietrich 2015, Beiker 2015). Der Übergang zu automatisierten Fahrzeugen könnte jedoch auch trans-

formativ verlaufen, wobei die Trennung zwischen Individualverkehr (IV) und ÖV aufgehoben wird. Das Einsatzgebiet autonomer Fahrzeuge würde in diesem Szenario vermutlich erst nach und nach ausgeweitet (vgl. Minx und Dietrich 2015).

8.1 Bestimmung des Adoptionssubjektes

Die tatsächliche Gestaltung des Übergangs vom traditionellen zum autonomen Fahren wird durch die potentiellen Adoptoren bestimmt und wie schnell sich diese zur Adoption entscheiden können. Neben der Anwendung im MIV zum Privatzweck kann das autonome Fahren auch zu gewerblichen Zwecken adoptiert werden. Zu diesen gewerblichen Zwecken zählt insbesondere die Verwendung im Rahmen des ÖV (z. B. bei Bus- oder Taxiunternehmen oder Car-Sharing-Anbietern) oder des Güterverkehrs.

In den folgenden Abschnitten wird die Innovation *Autonomes Fahren* hinsichtlich der genannten Erfolgsfaktoren untersucht. Im Anschluss daran werden einige Besonderheiten bei der Adoption der Innovation im gewerblichen Bereich erläutert.

8.2 Untersuchung der Einflussfaktoren

8.2.1 Innovationsspezifische Faktoren

Relative Vorteilhaftigkeit

Das autonome Fahren kann für viele potentielle Nutzergruppen eine Verbesserung der Mobilität bedeuten. So können Menschen, die bisher aus unterschiedlichsten Gründen nicht eigenständig motorisiert unterwegs sein können, die Vorteile eines individuellen, allzeit verfügbaren Verkehrsmittels genießen. Zu diesen Nutzergruppen zählen zum einen Menschen mit Behinderung, denen das autonome Fahren ein deutliches Mehr an Lebensqualität bieten kann (vgl. Minx und Dietrich 2015).

Auch für Kinder und Jugendliche, sowie für ältere Menschen, deren Leistungsfähigkeit im Verkehr noch nicht oder nicht mehr so ausgeprägt ist, erweitert oder

sichert das autonome Fahren die Teilhabe am gesellschaftlichen Leben. Schon heute sehen insbesondere ältere Menschen aus diesem Grund auch in FAS die Möglichkeit, „sinkendes Leistungsvermögen kompensieren zu können“ (Minx und Dietrich 2015) und ihr Mobilitätsniveau halten zu können. Das Fahren bei widrigen äußeren Bedingungen (z.B. Dunkelheit, schlechten Wetterbedingungen, o. ä.) oder auf fremden Strecken wird somit attraktiver (vgl. Cyganski 2015).

Unabhängig vom Alter der Nutzer entsteht diesen durch die Vernachlässigung der Fahrzeugführung die Möglichkeit, die Fahrtzeit mit alternativen Tätigkeiten zu nutzen (vgl. Johanning und Mildner 2015). Für Pendler und Vielfahrer entsteht dadurch ein wesentlicher Vorteil, der durch höheren Komfort durch Wegfallen von Parkplatzsuchen, o. ä. ergänzt werden könnte (vgl. Cyganski 2015). Wird das autonome Fahrzeug mit den Möglichkeiten zur Car2Car (C2C)- und Car2Infrastructure (C2X)-Kommunikation² ausgestattet, ermöglicht das zudem die „Antizipation von Manövern von vorausfahrenden Fahrzeugen und die davon abhängenden Reaktionen in der darauffolgenden Kolonne“ (Friedrich 2015), so dass ein komfortables Fahrgefühl ermöglicht wird. Gleichzeitig erhofft man sich eine steigende Energieeffizienz, indem unnötige Brems- und Beschleunigungsvorgänge vermieden werden und die Routenwahl effizienter wird (vgl. Johanning und Mildner 2015).

Die relative Vorteilhaftigkeit von autonomen Fahrzeugen ist darüber hinaus abhängig von den Kosten, wobei die Anschaffungskosten bei Markteinführung vermutlich noch über denen herkömmlicher Autos liegen wird. Johanning und Mildner gehen jedoch davon aus, dass die Versicherungskosten für autonome Fahrzeuge dafür geringer als für traditionelle Autos ausfallen werden, da die Unfallgefahr geringer eingeschätzt wird (vgl. Johanning und Mildner 2015).

Das Ausmaß dieser Sicherheitsverbesserung ist allerdings noch nicht abzuschätzen, da die Leistungsfähigkeit eines serienreifen vollautomatisierten Fahrzeugs noch nicht bekannt ist (vgl. Winkle 2015b). Es wird allerdings angenommen, dass durch

²C2C-Kommunikation ermöglicht den Informationsaustausch zwischen zwei Fahrzeugen (Fahrwege, Geschwindigkeiten, etc.). C2X-Kommunikation ermöglicht dagegen den Informationsaustausch zwischen Fahrzeug und Infrastruktur (Verkehrssysteme, Schaltzustand von LSA, Warnungen vor Notfallfahrzeugen, etc.). C2C- und C2X-Kommunikation ist damit Zeichen des Zusammenwachsens von IT- und Automobilbranche (vgl. Johanning und Mildner 2015).

das Ausschließen von menschlichem Fehlverhalten bis zu 93,5% der Verkehrsunfälle vermieden werden können, die bisher auf menschliches Fehlverhalten zurückgeführt werden (vgl. Winkle 2015b). Ob die Leistungsfähigkeit vollautomatisierter Fahrzeuge jedoch tatsächlich zu einer derartigen Senkung der Unfallzahlen führen kann, ist noch ungewiss.

Eine positive Wahrnehmung autonomer Fahrzeuge wird auch davon abhängen, inwieweit das autonome Fahren zu einer Verbesserung des Verkehrsflusses führen kann. Allgemein wird mit steigendem Aufkommen autonomer Fahrzeuge eine verbesserte Straßenraumnutzung (z. B. durch geringere Fahrzeugabstände) und damit eine höhere Kapazität erwartet (vgl. Friedrich 2015). Die Aussicht auf kürzere Reisezeiten durch weniger Staus kann dabei nicht nur von Privatanwendern als Vorteil des autonomen Fahrens wahrgenommen werden.

Kompatibilität

Aus einer übergeordneten Sicht bedeutet Kompatibilität des autonomen Fahrens zunächst die Vereinbarkeit des autonomen Fahrens mit bestehenden Verkehrsmitteln. Davon betroffen sind jedoch nur die Verkehrsmittel, die keine abgeschlossenen Systeme darstellen und somit Kreuzungspunkte mit dem Straßenverkehr aufweisen. An den Kreuzungen von Schienen-/Wasserwegen mit dem Straßennetz sind die Sicherungsanlagen bereits so gestaltet, dass dort keine Probleme für autonome Fahrzeuge mehr zu erwarten sind. Dabei kommen die gleichen Hilfsmittel zum Einsatz wie auch an Knotenpunkten des Straßenverkehrs.

Das Erreichen von Kompatibilität mit dem Straßenverkehr, das den gesellschaftlichen Ansprüchen an die Sicherheit genügt, ist eine zentrale Herausforderung bei der Entwicklung und Einführung des autonomen Fahrens. Die unüberschaubare Anzahl möglicher Situationen im Straßenverkehr erfordert, „dass das Fahrzeug seine Umgebung wahrnehmen, geeignet interpretieren und daraus kontinuierlich sichere Handlungen ableiten und ausführen“ (Flämig 2015) kann. Damit muss sichergestellt werden, dass die Sicherheit nicht durch die „Substitution des Menschen [...] im öffentlichen Straßenverkehr“ (vgl. Wachenfeld und Winner 2015) gemindert wird. Die vielfältigen Möglichkeiten der Kommunikation besonders im städ-

tischen Straßenverkehr auch mit nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmern können von autonomen Fahrzeugen noch nicht verarbeitet werden (vgl. Färber 2015). Die Problematik der Mensch-Maschine-Kommunikation spiegelt die Komplexität des Straßenverkehrs wider, in der sich autonome Fahrzeuge zurecht finden müssen.

Ein Nichterfüllen der genannten Anforderungen zur Sicherheit und Anwendbarkeit des autonomen Fahrens wäre folgenreich für die Entscheidung des Adoptionssubjektes. Die Herstellung der Kompatibilität mit der technischen Umwelt, d. h. mit dem Straßenverkehr in seiner heutigen Form, ist aus Adoptorensicht essentiell. Das Erreichen dieser Kompatibilität wird in der Praxis durch die schrittweise Einführung von FAS oder durch die verschiedenen, in ihrem Radius beschränkten Einsatzszenarien sichergestellt.

Die Kompatibilität autonomer Fahrzeuge zu bestehenden Werten und Erfahrungen ist schwieriger zu beantworten und eng verbunden mit der sozio-kulturellen Umwelt (vgl. Abschnitt 8.2.2). Das Verständnis des Autofahrens „als Inbegriff eines selbstbestimmten Handelns“ (Becker 2015) ist eine Wertvorstellung, die für viele potentielle Adoptoren nur schwer mit dem autonomen Fahren vereinbar ist.

Komplexität

Die Entwicklung des Automobils war schon früh von Bemühungen geprägt, den Verkehr auf den Straßen sicherer zu machen. Die fortschreitende Diffusion von FAS ist vor allem mit einer Elektronisierung der Fahrzeugtechnik einhergegangen. Moderne Autos können deshalb nur noch mit Hilfe von Fachpersonal gewartet und repariert werden. Die Verständlichkeit der Technik für nicht darin ausgebildetes Personal hat mit steigender Komplexität der Fahrzeugtechnik abgenommen. Das Verstehen der Fahrzeugtechnik ist jedoch für die Akzeptanz der Technologien wichtig, auch wenn das Verständnis die Nutzung eines autonomen Fahrzeugs nicht direkt beeinflusst.

Das Fahren selbst wird dagegen bei vollautonomen Fahrzeugen einfacher, dabei spielt die Komplexität der verbauten Technik keine Rolle mehr. Außer einer Zieleingabe erfordert der Ortswechsel mittels autonomen Fahrzeugs keinerlei Fähigkeiten. Die für herkömmliche Fahrzeuge notwendige Fahrerlaubnis in Form des Führer-

scheins ist nicht nur eine rechtliche Zugangshürde, sondern vielmehr die Bescheinigung der körperlichen und geistigen Fähigkeit zum Autofahren. Die Zugangsbeschränkung zum MIV ist beim vollautonomen Fahren damit nicht mehr vorhanden. Bei den anderen Automatisierungsgraden, die zumindest in Ausnahmefällen die Übernahme der Fahrzeugkontrolle vorsehen, ist diese Vereinfachung dagegen nicht gegeben.

Beobachtbarkeit, Erprobbarkeit und Kommunizierbarkeit

Die Möglichkeit, autonomes Fahren zu beobachten und selbst zu erproben, ist für potentielle Nutzer von wesentlicher Bedeutung. Solange autonome Fahrzeuge noch nicht die Mehrheit auf den Straßen darstellen, ist dies im Alltag nicht selbstverständlich gegeben.

Je nach Umfang des möglichen Einsatzes autonomer Fahrzeuge wird die Beobachtbarkeit und Erprobbarkeit entweder durch den öffentlichen Verkehr oder durch Händler hergestellt werden. Sowohl bei Einbindung autonomer Fahrzeuge in Car-Sharing-Angebote als auch bei Testfahrten beim Autohändler können die Eigenschaften innovativer Fahrzeugtechnik (d. h. auch einzelner FAS) erprobt werden. Die Rolle der Händler als erster Anlaufpunkt zum Kennenlernen von Innovationen unterscheidet sich damit in der Automobilbranche nicht von deren Rolle in anderen Branchen.

Die Einflussfaktoren Beobachtbarkeit und Erprobbarkeit sind auch für die Bildung der öffentlichen Meinung und für die Entwicklung einer sozio-kulturellen Technikakzeptanz wichtig. Aussagen von Journalisten, die von den Entwicklern zur Teilnahme an Probefahrten eingeladen wurden, bewegen Minx und Dietrich dazu, die Bedeutung des Erprobens für die Wahrnehmbarkeit des relativen Vorteils autonomen Fahrens zu betonen (vgl. Minx und Dietrich 2015). Bereits jetzt laden die Hersteller eventuelle Fürsprecher (z. B. Journalisten, Blogger, etc.) zu Mitfahrten in Versuchsfahrzeugen ein. Auf diese Weise kann sowohl die Vorteilhaftigkeit als auch die Funktionsweise kommuniziert werden.

Mit der tatsächlichen Markteinführung autonomer Fahrzeuge können Beobachtbarkeit, Erprobbarkeit und Kommunizierbarkeit der Innovation durch die vertrei-

benden Händler sichergestellt werden. Viele große Automobilhersteller wie auch IT-Unternehmen (z. B. Apple) haben dazu die Funktion des *Genius* in den einzelnen Niederlassungen eingeführt, dessen Aufgabe es ist, die „Besucher [...] für Funktionen und Vorteile der neuesten [...] Produkte und Technologien zu begeistern“ (Johanning und Mildner 2015).

Reifegrad der Innovation

Die auf europäischen und amerikanischen Straßen fahrenden Testfahrzeuge sind derzeit noch nicht marktreif. Dies liegt nicht nur an technischen Hindernissen, sondern auch an fehlenden Rahmenbedingungen, die in dem nachfolgenden Abschnitt 8.2.2 betrachtet werden. Die verbauten Komponenten sind nach Aussagen von Autoherstellern noch nicht serienreif. Genauso wie die am autonomen Fahren arbeitenden IT-Unternehmen gehen sie deshalb erst ab 2020 von einer Serien- und damit Marktreife aus. Der Autohersteller Daimler plant die Markteinführung eines Autobahnpiлотen derzeit für das Jahr 2020, während bis zum vollautonomen Fahren wohl noch weitere zehn Jahre vergehen werden (vgl. Doll 2015).

Wahrgenommenes Risiko

In Filmen wurde das autonome Fahren bis 2005 regelmäßig thematisiert. Das über autonome Fahrzeuge gezeichnete Bild schwankte dabei zwischen dem eines Freundes und Helfers und dem einer sich verselbstständigenden Erfindung, über die die Menschen die Kontrolle verloren haben (vgl. Minx und Dietrich 2015). In letzteren wird vor allem das Gefühl einer Sicherheitsbedrohung erzeugt, die nicht nur das Autofahren selbst betreffen. Im Film *Minority Report* wird das autonome Fahrzeug in eine direkte Verbindung mit einem totalitären Überwachungsstaat gestellt (vgl. Kröger 2015). Das Entgleiten der Kontrolle ist ein zentraler Bestandteil derartiger Filme, welcher auch heute der Wertekompatibilität und damit der sozio-kulturellen Akzeptanz im Wege steht. Die Medienlandschaft und Filmindustrie hat damit Einfluss auf die Wahrnehmung des autonomen Fahrens genommen und so wesentliche Bedenken zu Sicherheit und damit auch Vorteilhaftigkeit geschürt.

Das autonome Fahren steckt derzeit noch in seinen Anfängen. Die Testfahrten mit Fahrzeugen von Google, Mercedes, etc. werden in der Öffentlichkeit mit großem Interesse verfolgt, wobei sowohl Erfolge als auch Misserfolge geteilt werden. Die amerikanische Firma *Tesla* hat bereits umfangreiche FAS in seinen Fahrzeugen integriert, die ein teilautomatisiertes Fahren ermöglichen. Im Juli 2016 ist es mit einem Tesla-Fahrzeug bei teilautomatisiertem Fahrbetrieb zu einem tödlichen Unfall gekommen (vgl. S. Kaiser 2016-07-01). Das direkte Zurückführen der Unfallursache auf ein technisches Versagen der umfangreichen FAS hat das im Zusammenhang mit autonomen Fahren wahrgenommene Risiko vergrößert. Dazu kommt, dass es für die eingesetzten Sicherheitssysteme in autonomen Fahrzeugen noch keine geeigneten Prüfverfahren gibt. Die aktuell für Autos verwendeten sind dazu nicht geeignet (vgl. Wachenfeld und Winner 2015). Das Ausmaß der vorhergesagten Reduzierung der Unfallzahlen wird deshalb häufig hinterfragt.

Noch ein weiterer Faktor steigert das wahrgenommene Risiko. Nicht nur die Vernetzung des Fahrzeugs durch C2C- und C2X-Kommunikation, sondern auch durch die zunehmende Vernetzung mit dem Internet zur Bereitstellung digitaler Dienstleistungen auch während der Fahrt ermöglicht das Sammeln von Daten in immer größerem Ausmaß. Die gesammelten Daten können dabei neben Standort- und Reiseinformationen auch im großen Maße Umgebungsdaten des Fahrzeugs beinhalten (vgl. Minx und Dietrich 2015). In diesem Kontext können auch die Bemühungen der IT-Unternehmen interpretiert werden, die mit solchen Daten ihre Angebote optimieren und diese unter Umständen auch noch an Dritte weiterreichen könnten. Das Risiko der unkontrollierten Verbreitung persönlicher Daten ist momentan besonders in Europa Teil vieler Diskussionen, die durch verschiedene Datenlecks und -skandale in den letzten Jahren angetrieben wurde. Klar ist allerdings auch, dass zumindest eine anonymisierte Form der Datenweitergabe gewährleistet werden muss, damit die Vorteile des autonomen Fahrens voll genutzt werden können. Um die vollen Qualitätssteigerungen durch Verkehrsflussoptimierungen erreichen zu können, sind die Verkehrsleitzentralen auf entsprechende fahrzeugbezogenen Daten angewiesen (vgl. Minx und Dietrich 2015).

Marktpositionierung

Derzeit spricht viel für eine evolutionäre Markteinführung des autonomen Fahrens, bei dem die dafür notwendige Technik schrittweise von den Herstellern in die jeweiligen Modelle des Premiumsegmentes eingeführt wird (vgl. Beiker 2015). Ausgehend von den hochklassigen Fahrzeugen werden sich die Technologien und damit das autonome Fahren auch in die niedrigeren Preissegmente diffundieren. Die räumliche Marktpositionierung autonomer Fahrzeuge wird dabei wesentlich von den rechtlichen Rahmenbedingungen beeinflusst, die noch nicht überall auf die Möglichkeiten autonomen Fahrens eingestellt sind.

Auch wenn diese evolutionäre Vorgehensweise der Markteinführung dem bewährten Denken der Autohersteller entspricht: Durch die hohe Entwicklungstätigkeit von IT-Unternehmen in diesem Bereich wird dieser evolutionäre Ansatz in Frage gestellt (vgl. Minx und Dietrich 2015). Die Telekommunikationsbranche verfolgt häufig Strategien, die eine schnelle, disruptive Verbreitung am Markt herbeiführen sollen. Beiker stellt sich allerdings die Frage, ob die IT-Unternehmen wirklich selbst mit den etablierten Autoherstellern in Konkurrenz um die Privatkunden treten wollen (vgl. Beiker 2015). Die unklaren Ziele der IT-Unternehmen lassen derzeit kaum Rückschlüsse über eine mögliche Marktpositionierung zu.

8.2.2 Umweltbezogene Faktoren

Ökonomische Umweltfaktoren

Weltweit wurden im Jahr 2014 über 76 Mio. Personenkraftwagen (Pkw) neu zugelassen, was einem Plus von 4,1% gegenüber dem Vorjahr entspricht (vgl. VDA 2015). Besonders in den USA und in China gab es eine sehr positive Entwicklung, wogegen besonders die zweite Jahreshälfte mit vielen politischen Krisen in Süd- und Osteuropa zu einem Einbruch bei den Neuzulassungen führte (vgl. VDA 2015). Die deutschen Hersteller haben von diesen Zuwächsen in Asien und Amerika nur eingeschränkt profitieren können. Trotzdem wurde deren Produktion sowohl im Ausland als auch im Inland gesteigert, sodass der Umsatz der deutschen Automobilindustrie um ca. 2% auf über 367,9 Mrd. Euro gewachsen ist (vgl. VDA

2015).

Um die Wachstumsmärkte in den USA und in China bemühen sich dabei wenige große Marken, die damit ein Oligopol darstellen (vgl. Wallentowitz, Freialdenhoven und Olschewski 2009). Währenddessen sind die Heimatmärkte vieler Automobilhersteller bereits gesättigt. Das trifft sowohl auf den europäischen als auch auf den japanischen Markt zu (vgl. Wallentowitz, Freialdenhoven und Olschewski 2009). Die Automobilhersteller werden dabei besonders durch einen veränderten Stellenwert von ökologischen Ansprüchen durch Gesellschaft und Politik sowie neue Technologietreiber unter Druck gesetzt (vgl. Wallentowitz, Freialdenhoven und Olschewski 2009). Zu diesen neuen Technologietreibern zählen auf der einen Seite IT-Unternehmen, die wie bereits beschrieben das Thema autonomes Fahren für sich definiert zu haben, und auf der anderen Seite neue Hersteller, die sich in Marktnischen gegründet haben. Zu diesen neuen Herstellern zählt unter anderen die Firma Tesla, die mit Elektrofahrzeugen öffentlichkeitswirksam in den Markt eingestiegen ist und in diesen über viele FAS ein teilautomatisiertes Fahren ermöglicht. Inzwischen haben sich einige traditionelle Automobilhersteller mit IT-Firmen in Kooperationen zusammengetan, um diesen technologischen Trends folgen zu können (vgl. Minx und Dietrich 2015).

Hinsichtlich der Marktgröße nimmt der Anwendungsfall Vehicle-on-Demand eine besondere Rolle ein. Dabei steht weniger der Privatbesitz eines Fahrzeuges im Fokus der Nutzer, sondern fast ausschließlich dessen Nutzung (vgl. Minx und Dietrich 2015). Die Vermischung von ÖV und MIV kann im Extremfall zu einem Verschwinden des Privatkundenmarktes. Der Markt für Fahrzeuge würde in diesem Fall äußerst klein werden, was die bisherigen Unternehmensstrategien der traditionellen Automobilhersteller in Frage stellt.

Politisch-rechtliche Umwelt

Die ursprüngliche rechtliche Grundlage für den Straßenverkehr in Europa bildet das so genannte *Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr* von 1968. In Art. 8, Abs. 5 und Art. 13, Abs. 1 der Erstfassung ist festgelegt, dass ein Fahrzeugführer sein Fahrzeug beherrschen muss und die Verantwortung darüber trägt.

Im Jahr 2014 wurde Art. 8 im Zuge der voranschreitenden technologischen Entwicklung ergänzt. Mit dieser Ergänzung wird die Anwendung von FAS ermöglicht, die Einfluss auf die Fahrzeugführung haben, sofern eine Übersteuerung durch den Fahrer jederzeit möglich ist (vgl. Johanning und Mildner 2015, Minx und Dietrich 2015). Der Einsatz von vollautonomen Fahrzeugen ist damit vorerst noch nicht möglich. In den USA, die das Abkommen nicht unterzeichnen haben, sind die rechtlichen Hürden niedriger. Vermutlich auf Druck des IT-Unternehmens Google haben einzelne Bundesstaaten der USA selbstfahrende Fahrzeuge zugelassen (vgl. Schreurs und Steuer 2015). Auch Japan ist bei der rechtlichen Handhabung autonomer Fahrzeuge bereits weiter als viele europäische Staaten.

Dass die Bundesregierung erst im April diesen Jahres den Gesetzentwurf zur Übernahme der Änderungen der Wiener Konvention auf den Weg gebracht hat (vgl. BPA 2016), zeugt von dem Stellenwert, den autonomes Fahren für die Bundesregierung hat. In der von der Bundesregierung veröffentlichten Strategie zum autonomen Fahren werden zwar verkehrliche Potentiale beschrieben, als Ziele werden jedoch Innovationsführerschaft, Heimat einer international führenden Automobilindustrie und das Erreichen der Einsatzreife vollautomatisierter Fahrzeuge genannt (vgl. BMVI 2015). In Berichten der EU-Kommission wird das autonome Fahren darüber hinaus mit den Themen Wettbewerbsfähigkeit, Klimaschutz, Energiesicherheit und Beschäftigung erwähnt (vgl. Schreurs und Steuer 2015).

Neben der grundsätzlichen Regelung durch Einbindung des (teil-)automatisierten Fahrens in das Wiener Übereinkommen gibt es noch weitere offene Fragen, die vor allem das Haftungsrecht betreffen. Wer haftet, wenn ein Fehler in Hard- oder Software zu einem Unfall führt? Gasser bezeichnet diese Möglichkeit als „Automatisierungsrisiko“ und stellt fest, dass die „Entscheidung über die Ermöglichung autonomer Fahrzeuge und damit über ein eigenständiges maschinelles Automatisierungsrisiko im Straßenverkehr dem Gesetzgeber obliegt“ (Gasser 2015). Das beinhaltet auch die Frage, inwieweit eine fehlerhafte Steuerungsentscheidung als Produktfehler einzuordnen ist und inwieweit auch die Infrastruktur als Unfallursache einzustufen ist (vgl. Gasser 2015).

Technische und sozio-kulturelle Umwelt

Vernetzung und Automatisierung sind Themen, die neben der Mobilität auch viele andere Bereiche des alltäglichen Lebens erfasst haben (z. B. durch vernetztes Wohnen oder Rasenmäroboter). Die technische Umwelt ist durchaus als begünstigender Faktor für die Einführung und Verbreitung autonomer Fahrzeuge zu bewerten. Sie beeinflusst die sozio-kulturelle Umwelt insofern, dass sich durch andere technische Geräte bereits eine grundsätzliche gesellschaftliche Akzeptanz zu einzelnen Technologien eingestellt haben könnte. Die gesellschaftliche Akzeptanz des autonomen Fahrens hängt jedoch nicht an der Akzeptanz der einzelnen Technologien, d. h. FAS. Vielmehr geht es dabei um das Gesamtpaket, das sich einer gesellschaftlichen Bewertung stellen muss.

Die Wahrnehmung der Innovation „Autonomes Fahren“ wird durch das hervorgerufene Potential zu möglichen Veränderungen im Stadtbild begünstigt. Der amerikanische Forscher Pavone hat eine deutliche Reduzierung des privaten Pkw-Bestandes in Megacitys bei Einführung eines umfassenden Vehicle-on-Demand-Systems in Aussicht gestellt (vgl. Pavone 2015). Durch das geringere Fahrzeugaufkommen kann der Verkehrsfluss bei gleichzeitig geringerem Platzbedarf verbessert werden. Damit könnte die fortschreitende Diffusion des autonomen Fahrens das Erscheinungsbild von Städten deutlich verändern (vgl. Minx und Dietrich 2015). Die Ausmaße der möglichen Veränderung im Stadtbild sind jedoch derzeit nur schwer abzuschätzen. Minx und Dietrich spekulieren über mögliche Veränderungen in der Stadtstruktur (Suburbanisierung), neue Freiräume für den Nicht-Motorisierten Individualverkehr (NMIV) und neue Aufenthaltsflächen (vgl. Minx und Dietrich 2015).

Das autonome Fahren wird sich darüber hinaus einer Risikobewertung stellen müssen, bei der die Sicherheit durch einen direkten Vergleich zwischen autonomem und herkömmlichem Fahren gemessen werden wird (vgl. Grunwald 2015). Es zeichnet sich ab, dass das autonome Fahren einen solchen Vergleich objektiv gewinnen wird. Winkle stellt allerdings die Subjektivität eines solchen Vergleichs in den Vordergrund: „Während in Deutschland zurzeit jährlich über 3000 Unfälle im Straßenverkehr gesellschaftlich offenbar akzeptiert sind, fehlt womöglich jegliche Toleranz

bei einem Unfalltoten, der im Zusammenhang mit vermeintlichen technischen Fehlern steht.“ (Winkle 2015a). Die Auswirkungen subjektiver Empfindungen wird sicher auch durch die Medien massiv beeinflusst. Die Toleranz für Unfälle mit autonomen Fahrzeugen wird von potentiellen Skandalisierungen in der Berichterstattung abhängen, die betroffene Hersteller auch ökonomisch treffen könnten. Grunwald bezweifelt jedoch einen negativen Einfluss von Skandalisierungen einzelner Unfälle auf das autonome Fahren als Ganzes (vgl. Grunwald 2015).

Zur Sicherheitsdebatte gehören darüber hinaus auch ethische Fragen, die sich mit möglichen Entscheidungen eines Autopiloten in Dilemma- und No-Win-Situationen beschäftigen. Daraus folgt schließlich auch die rechtliche Frage nach der Verantwortung des Herstellers und des Besitzers (vgl. Minx und Dietrich 2015). Auf die Sicherheit bezogen müssen ebenfalls die unspezifischen Befürchtungen als Einschränkung der Akzeptanz bewertet werden, die mit der digitalen Vernetzung einhergehen (z. B. Datenschutz, Überwachung, etc.) (vgl. Grunwald 2015).

Viele unterschiedliche Facetten machen die Sicherheit zu einem Kernthema bei der Frage nach der gesellschaftlichen Akzeptanz des autonomen Fahrens. Die Risiken und Chancen müssen auf gesellschaftlicher Ebene offen diskutiert werden (vgl. Fraedrich und Lenz 2015a). Das Ausbleiben einer breiten gesellschaftlichen Diskussion über diese Themen liegt in Deutschland unter anderem an einem relativ großen Bevölkerungsanteil (44%), der sich noch nicht über das autonome Fahren informiert hat (vgl. Fraedrich und Lenz 2015b). Nach einer repräsentativen Umfrage von Fraedrich und Lenz fühlen sich nur 4% der Befragten gut über das autonome Fahren informiert (vgl. Fraedrich und Lenz 2015b). Der Informationsfluss ist dabei im wesentlichen abhängig von den Massenmedien, die von 78% als Informationsquelle angegeben werden (vgl. Fraedrich und Lenz 2015b).

In der gleichen Studie konfrontieren Fraedrich und Lenz die Befragten mit möglichen Einsatzszenarien des autonomen Fahrens. Das Vehicle-on-Demand Prinzip wird dabei deutlich schlechter bewertet als ein Vollautomat mit Verfügbarkeitsfahrer: 35% bewerten Vehicle-on-Demand positiv, 40% negativ. Dem gegenüber wird der Vollautomat von 46% positiv und von 36% negativ gesehen (vgl. Fraedrich und Lenz 2015b). Die tatsächliche Bereitschaft ein herkömmliches Fahrzeug durch ein autonom fahrendes zu ersetzen, liegt aber deutlich niedriger als diese Be-

wertungen vermuten lassen. Abbildung 8.2 zeigt die überwiegende Ablehnung der Befragten zum autonomen Fahren. Es zeigt sich eine Konkretisierung der Meinungen, wenn der Einsatz des Autopiloten näher spezifiziert wird. Vehicle-on-Demand lehnen demnach über 50% der Befragten ab, eine tatsächliche Wechselbereitschaft geben dagegen nur 11% an (vgl. Fraedrich und Lenz 2015b).

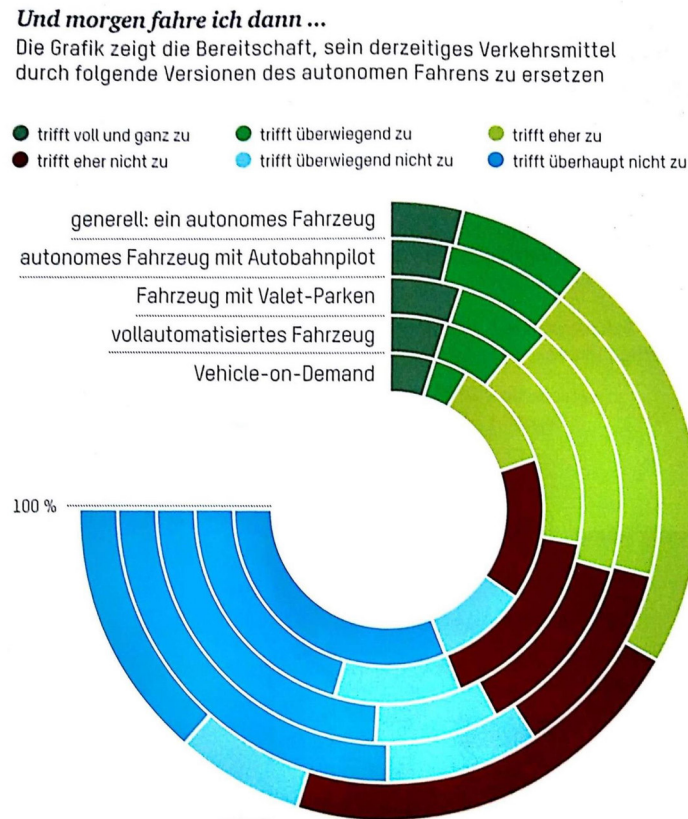


Abbildung 8.2: Wechselbereitschaft zugunsten verschiedener Versionen des autonomen Fahrens
(Abbildung aus Minx und Dietrich 2015 nach Fraedrich und Lenz 2015b)

Die quantitative Untersuchung haben die Autoren der Studie durch eine qualitative Erhebung in Form von Gruppengesprächen ergänzt. Dabei werden Befürchtungen deutlich, die sich vor allem auf die Sicherheit oder gesellschaftlichen Auswirkungen des autonomen Fahrens beziehen. Außerdem wird die Angst vor einer beschleunigten Leistungsgesellschaft deutlich, in der Spontanität, Individualität, Vielfalt

und Flexibilität abnehmen (vgl. Fraedrich und Lenz 2015b). Außerdem wird eine Furcht vor sozialer Isolation und Arbeitsplatzverlust artikuliert (vgl. Fraedrich und Lenz 2015b). Die beim autonomen Fahren herrschende Abhängigkeit von der Technik bedeutet für die Teilnehmer dabei auch einen Kontrollverlust. Nach Kröger basiert jedoch die „Faszination des automobilen Autonomieversprechens [...] historisch vor allem auf der Kontrolle des menschlichen Fahrers über Gaspedal, Lenkrad und Bremse“ (Kröger 2015). Darüber hinaus zitiert er den Semiologen Roland Barthes, der das Automobil als einzigen verliebenen Bereich bezeichnet, „wo dem Machtrausch und der Erfindungsgabe noch ein freier Raum“ (Barthes 2002, zitiert nach Kröger 2015) verbleibt.

Mit diesen Bewertungen und Meinungen stellen Fraedrich und Lenz die generelle Offenheit und hohe Akzeptanz des autonomen Fahrens in Frage, die aus anderen Befragungen häufig abgeleitet wird (vgl. Minx und Dietrich 2015).

8.3 Aspekte der gewerblichen Nutzung

Die Nutzung von autonomen Fahrzeugen bietet nicht nur im privaten Personenverkehr viele Möglichkeiten, sondern auch im ÖV und im Wirtschaftsverkehr. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Privatfahrten und Fahrten im gewerblichen Bereich liegt darin, dass das „Fahren selbst [...] keinen Mehrwert [stiftet] und [...] nur Mittel zum Zweck der Raumüberwindung“ (Flämig 2015) ist. Die in den vorigen Abschnitten diskutierten Ausprägungen der Einflussfaktoren gelten im Wesentlichen auch für den ÖV oder den Wirtschaftsverkehr. Durch die objektivierten Entscheidungsprozesse im gewerblichen Bereich ist es vielmehr wahrscheinlich, dass dieser als Vorreiter den entscheidenden Anstoß für eine Diffusion des autonomen Fahrens auch im Privatbereich gibt (vgl. Minx und Dietrich 2015).

In den folgenden Abschnitten wird deshalb noch auf einige weitere die Adoption begünstigende Merkmale des autonomen Fahrens eingegangen.

8.3.1 Autonomes Fahren im Güterverkehr

Im Güterverkehr bietet die Einführung des autonomen Fahrens viele Vorteile. Reduzierte Unfallzahlen und ein verbesserter Verkehrsfluss sind natürlich auch für potentielle gewerbliche Adoptoren relevant. Sie betreffen dabei nicht nur das Fuhrunternehmen, sondern über Verbesserungen bezüglich Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit auch deren Kunden (d. h. Industrie und Handel). Für die Fuhrunternehmen vielleicht von besonderer Bedeutung ist die erreichbare Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Fahrer. Lange Abwesenheitszeiten von Zuhause durch Langstreckenfahrten, hoher Termindruck und damit verbunden die höhere Unfallgefahr durch Lenk- und Ruhezeitüberschreitungen (Übermüdung) können durch das (teil-)automatisierte Fahren minimiert werden (vgl. Flämig 2015). Dazu ist das so genannte *Platooning* von wesentlicher Bedeutung. Es stellt eine Vorstufe zum autonomen Fahren dar, indem Fahrzeuge durch C2C-Kommunikation elektronisch miteinander gekoppelt werden. Ein Führungsfahrzeug wird dabei nach wie vor von einem Fahrer gesteuert, während die angekoppelten Nachfolger dem Führungsfahrzeug folgen. Dabei können geringere Fahrzeugabstände realisiert werden, durch die die Energieeffizienz gesteigert werden kann (vgl. Flämig 2015).

Sowohl beim Platooning als auch bei der Realisierung von Autobahnpiloten, Valet-Delivery³, etc. könnten die nicht an der Steuerung beteiligten Fahrer alternative Aufgaben übernehmen. Das schließt die administrative Vor- und Nachbereitung der Lieferung, Routenplanung oder Fuhrparkmanagement genauso wie die Erholung ein (vgl. Flämig 2015). Die Einführung autonomer Fahrzeuge in die Fahrzeugflotten wird damit wohl das Aufgabenfeld der Fahrer deutlich verändern, was zusammen mit der Verbesserung der Arbeitsbedingungen den Fuhrunternehmen die Personalsuche vereinfachen dürfte (vgl. Flämig 2015). Die Möglichkeit zur Erledigung administrativer Tätigkeiten bereits während der Fahrt wird auch in anderen Bereichen des Wirtschaftsverkehrs als vorteilhaft wahrgenommen werden (vgl. Flämig 2015).

Diese Effizienzsteigerungen führen zu niedrigeren Transportkosten, die an die Kun-

³Valet-Delivery bezeichnet nach Flämig einen Anwendungsfall des autonomen Fahrens im Güterverkehr, bei dem das Fahrzeug den letzten Streckenabschnitt zum Ziel bzw. das Rangieren an der Be-/Entladerampe übernimmt (vgl. Flämig 2015).

den der Fuhrunternehmen in Industrie und Handel weitergegeben werden können. Der höheren Effizienz folgt möglicherweise auch eine höhere Flexibilität und Zuverlässigkeit in der Supply Chain (vgl. Flämig 2015).

Auf die Innovationsumwelt bezogen steht der Einsatz autonomer Fahrzeuge im Straßengüterverkehr den gleichen Problemen gegenüber wie im (privaten) Personenverkehr. Im Güterverkehr tritt dabei vielleicht noch deutlicher als im Personenverkehr die Konkurrenz zwischen den Verkehrsträgern in den Mittelpunkt. Platooning und mögliche Effizienzsteigerungen stellen eine unmittelbare Bedrohung für den Schienengüterverkehr und die Binnenschifffahrt dar (vgl. Flämig 2015).

Autonome Lastkraftwagen (Lkw) genauso wie die notwendige Technik des Platooning haben noch nicht die notwendige Marktreife erreicht. Gegen eine schnelle Diffusion dieser Technik spricht jedoch noch deutlicher als im Bereich der Pkw das wahrgenommene Risiko bzw. die sozio-kulturelle Akzeptanz. Das Bedrohungsgefühl durch selbständig fahrende Lkw liegt nach Meinung von Flämig deutlich über dem von autonomen Pkw (vgl. Flämig 2015).

8.3.2 Autonomes Fahren im öffentlichen Verkehr

Neben dem Güterverkehr sind auch die Verkehrsunternehmen des ÖV (Busunternehmen, Car-Sharing-Unternehmen, Taxiunternehmen, etc.) potentielle Adoptoren. Die wirtschaftlichen Vorteile im ÖV ähneln erstmal denen im Güterverkehr. Das autonome Fahren verspricht geringere Betriebskosten nicht nur durch energiesparende Fahrweisen sondern vor allem durch Einsparungen bei den Personalkosten (vgl. Grünweg 2016-07-25). Darüber hinaus hängen die Vorteile für die Verkehrsunternehmen besonders davon ab, welche Vorteile die Adoption für die Kunden bietet. Zu diesen Vorteilen kann ein verbessertes ÖV-Angebot in ländlichen Gebieten mit geringer Nachfrage gehören. Eine Attraktivitätssteigerung des ÖV durch das autonome Fahren ist damit sowohl Folge als auch Ursache einer breiten Akzeptanz für den Einsatz der Technologien im ÖV.

Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) sieht das autonome Fahren in einem Positionspapier jedoch nicht nur als Chance, sondern auch als eine für

den ÖV existenzbedrohende Innovation. Die Nutzung autonomer Fahrzeuge, egal ob in Privatbesitz oder über Car-Sharing-Systeme/Roboter-Taxen verbinden die Vorteile des heutigen ÖV (flexible Zeitgestaltung, keine Parkplatzsuche) und des IV (Zeitersparnis, Einfachheit). Daraus können zwei Extremszenarien entstehen: Einmal die vollständige Integration des autonomen Fahrens über Car-Sharing-Systeme/Roboter-Taxis in ÖV oder aber eine Reduzierung des ÖV ausschließlich auf den Hochleistungs-ÖV, der nur noch durch einen Vorteil in der Reisezeit existenzberechtigt ist (vgl. VDV 2015).

Die Einbindung in den ÖV entspricht letztendlich dem am Kapitelbeginn beschriebenen transformativen Einführungsszenario nach Beiker. An dessen Ende steht ein Mobility-on-Demand-System, das auch die im vorigen Abschnitt genannten Vorteile in sich vereinigt. Da dabei die Nutzung und nicht mehr der Besitz im Fokus steht, sieht der VDV zusätzlich eine neue Konkurrenz in Form der althergebrachten Autohersteller sowie an der Entwicklung beteiligter Technologiefirmen (vgl. VDV 2015). Es entsteht damit eine neue Konkurrenzsituation im Verkehrssektor.

In diesem Zusammenhang sei noch auf eine adopterbezogene Eigenschaft von Verkehrsunternehmen hingewiesen. Die Unternehmen des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) sind „bzgl. der Risikofreude, der Geschwindigkeit [bei Adoptionsentscheidungen] oder starrer Rahmenbedingungen wie Lohnniveau oder Mangel an Kapital“ (VDV 2015) im Nachteil. Da viele Nahverkehrsunternehmen kommunale Eigentümer haben, sind sie gleichzeitig „der gewollte, gemeinnützige Mobilitätsanbieter vor Ort“ (VDV 2015). In Verbindung mit den Finanzierungsstrukturen im ÖPNV in Deutschland können diese Nachteile durch eine entsprechende politische Förderung ausgeglichen werden.

8.4 Abwägung und Besonderheiten

Die Betrachtung des autonomen Fahrens als einheitliche Innovation ist irreführend. Die Entwicklungsgeschichte zeigt, dass autonome Fahrzeuge vielmehr Resultat einer Vielzahl kleinerer, inkrementeller Innovationen im Bereich der Fahrzeugtechnik sind. Bei differenzierter Betrachtung einzelner FAS entfalten jedoch nicht die

gleiche Wirkung wie die Kombination aus diesen. Die Diskussion der einzelnen Einflussfaktoren für die Gesamtinnovation *Autonomes Fahren* ist damit zweckmäßig. Die vorigen Fallstudien zu Transrapid und Containersystem haben gezeigt, dass sich die Ausgestaltung der einzelnen Einflussfaktoren während der Entwicklung deutlich ändern kann. Darüber hinaus ist wegen der andauernden Entwicklung eine Berücksichtigung des Automatisierungsgrades notwendig, der durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der FAS gesteigert wird.

Je nach Ausmaß und Umfang der vollautomatisierten Anwendungsfälle sind einzelne Einflussfaktoren unterschiedlich ausgeprägt. Besonders die relative Vorteilhaftigkeit, Kompatibilität, Komplexität und das wahrgenommene Risiko unterscheiden sich wesentlich zwischen den Anwendungsfällen. Ein Vehicle-on-Demand-System vereint sehr ausgeprägt eine hohe relative Vorteilhaftigkeit bei gleichzeitig hohen wahrgenommenen Risiko. Damit steht eine diffusionsfördernde Ausprägung der Vorteilhaftigkeit einer diffusionshemmenden Risikowahrnehmung gegenüber. Eine Einordnung basierend auf der qualitativen Untersuchung der einzelnen Faktoren in diffusionsfördernde oder -hemmende Faktoren findet sich in Tabelle 8.1.

Tabelle 8.1: Wirkungen der Einflussfaktoren auf die Diffusion des Autonomen Fahrens

Diffusionsfördernd	Diffusionshemmend
relative Vorteilhaftigkeit	Kompatibilität
Komplexität	Reifegrad
Beobachtbarkeit	wahrgenommenes Risiko
Erprobbarkeit	
Kommunizierbarkeit	
Marktpositionierung	
ökonomische Umwelt	politische Umwelt
technische Umwelt	sozio-kulturelle Umwelt

Die Ausprägung der innovationsspezifischen Merkmale autonomer Fahrzeuge verändert sich mit der Verbreitung autonomer Fahrzeuge. Das autonome Fahren weist nicht nur die Eigenschaften eines Netzeffektgutes auf, sondern auch die eines Systemgutes: Erst durch eine große Ausbreitung können wesentliche Vorteile des auto-

nomen Fahrens, z. B. hinsichtlich Sicherheit, Verkehrsablauf oder Stadtbildveränderungen realisiert werden. Bleibt die Frage, inwieweit für die Diffusion langfristig eine kritische Masse erreicht werden muss, um die Mehrheit der potentiellen Nutzer zur Adoption bewegen zu können. Dazu ist Beobachtbarkeit, Erprobbarkeit und Kommunizierbarkeit unabdingbar, mit der vor allem die Innovatoren und frühen Übernehmer (vgl. Kapitel 4) überzeugt werden müssen. Die große mediale Beachtung der Versuche zum autonomen Fahren sowie das etablierte Vertriebssystem für aktuelle Fahrzeuge machen diese drei Faktoren zu Diffusionsförderern.

Eine fortschreitende Diffusion reduziert auch die diffusionshemmenden Wirkungen von heute noch fehlender Kompatibilität, in der sich nachdrücklich die tendenziell ablehnende Haltung der sozio-kulturellen Umwelt widerspiegelt. Die ungeteilte Kontrolle über ein Fahrzeug zu haben ist offensichtlich immer noch ein wichtiger Aspekt beim Autofahren. Die Ablehnung des autonomen Fahrens wird durch das Risiko möglicherweise ungehinderter Datensammlung und -weitergabe von Adoptoren verstärkt, worin sich gleichzeitig die noch fehlende politisch-rechtliche Sicherheit der Gesetzgebung deutlich wird.

Neben Privatanwendern des autonomen Fahrens verheißen dessen Eigenschaften vor allem für gewerbliche Anwender viele Vorteile. Im Güterverkehr zeigen sich diese vor allem in Effizienzgewinnen sowohl für die Fuhrunternehmen/Speditionen als auch für deren Kunden. Diese Effizienzsteigerungen wirken sich gleichzeitig auf die Konkurrenzsituation zwischen den Verkehrsträgern aus und stellen damit einen Kontrast zu den verkehrspolitischen Bemühungen dar, den Schienenverkehr und die Binnenschifffahrt zu stärken. Obwohl die oben durchgeführte Diskussion zu den einzelnen Einflussfaktoren prinzipiell auch im Güterverkehr gilt, müssen diese anders gewichtet werden. Die Vorbehalte gegen das autonome Fahren im privaten Personenverkehr (insbesondere hinsichtlich des gefühlten Kontrollverlustes) wiegen im Güterverkehr weniger schwer. Die Geschwindigkeit der Diffusion autonomer Fahrzeuge im Güterverkehr wird deshalb vermutlich schneller vorstattengehen.

Viele der Faktoren die für eine zügige Einführung des autonomen Fahrens im Güterverkehr sprechen, lassen sich auf auf den ÖV beziehen. Dieser kann durch seinen räumlich begrenzten Einsatz sogar als Testfeld des autonomen Fahrens herhalten. Es bleibt abzuwarten, ob die Vorteile des autonomen Fahrens bei Anwendung im

ÖV auch von den Kunden wahrgenommen werden und darüber ein transformatives Einführungsszenario eintritt. Andernfalls wird die Existenz des ÖV grundsätzlich in Frage gestellt.

Zusammengefasst macht die Ausprägung der einzelnen Einflussfaktoren sowohl im Privat- als auch im gewerblichen Verkehr eine erfolgreiche Diffusion wahrscheinlich. Der Güterverkehr wird dabei zum Vorreiter, da die FAS als sicherheitsfördernde Vorreiter der Automatisierung dort am schnellsten verbreitet werden (u. a. durch gesetzliche Vorgaben). Bei entsprechender politischer Förderung kann auch der ÖPNV eine Vorreiterrolle einnehmen, durch die über verbesserte Beobachtbarkeit, Erprobbarkeit und Kommunizierbarkeit auch Akzeptanz schaffen und wahrgenommenes Risiko minimieren.

9 Auswertung der Fallstudien

Die in den Fallstudien vorgenommene qualitative Untersuchung der zurückliegenden und aktuellen Innovationen *Transrapid*, *Containersystem* und *autonomes Fahren* hinsichtlich der Erfolgsfaktoren hat Abhängigkeiten zwischen den untersuchten Faktoren und Faktorengruppen offenbart. Das gemeinsame Wirken der Faktoren bildet schließlich die Grundlage entsprechend des in Kapitel 5 dargestellten Wirkungsmodells zu einer Adoptionsentscheidung.

9.1 Erfolgsfaktoren für Innovationen im Verkehrssektor

Eine generalisierte Beurteilung des Stellenwertes der einzelnen innovationsspezifischen Einflussfaktoren im Rahmen des Entscheidungsprozesses über die Adoption einer Innovation ist nicht möglich. Dazu sind die Fallstudien mit den individuellen Eigenschaften der Innovationen zu unterschiedlich. Jedoch zeigen sich ähnliche Indikatoren bei den Beschreibungen der Einflussfaktoren.

9.1.1 Indikatoren der innovationsspezifischen Faktoren

Das Vorhandensein gemeinsamer Indikatoren zur Beschreibung der innovationsspezifische Merkmale zeigt sich besonders deutlich bei der „Relativen Vorteilhaftigkeit“. In den in dieser Arbeit betrachteten Innovationen ergibt sich die relative Vorteilhaftigkeit einer Innovation als Kombination aus der Erfüllung der folgenden Indikatoren:

- Reisezeit/Transportdauer
- Komfort
- Kosten
- Sicherheit

Darüber hinaus können je nach Art der Innovation auch mögliche Wirkungen auf Umwelt, Wirtschaft oder die Mobilität als Indikatoren zur relativen Vorteilhaftigkeit herhalten. Die Abwägung der Indikatoren zur Urteilsfindung über die relative Vorteilhaftigkeit ist dabei wiederum vom Adoptionssubjekt abhängig.

In diesen Indikatoren spiegeln sich damit auch die von Merki sehr allgemein formulierten Trends bei den Innovationen in der Verkehrsgeschichte (siehe Kapitel 3). Die betrachteten Innovationen entsprechen vielfach diesen Trends (vgl. Tabelle 9.1). Besonders das Containersystem entspricht fast allen dieser Trends, wobei es vor

Tabelle 9.1: Übereinstimmung der Innovationen mit den historischen Trends

	Container	Transrapid	Autonomes Fahren
schneller	✓	✓	(✓)
weiter	(✓)	(✓)	(✓)
mehr	✓	(✓)	✓
billiger	✓	(✓)	✓
sicherer	(✓)	✓	✓
✓ starke, (✓) geringe Entsprechung			

allem mehr und billigeren Güterverkehr ermöglicht hat. Der Transrapid folgt dagegen seit Beginn der Entwicklung dem Trend zu schnelleren Verkehrsdienstleistungen. Die Entwicklung des autonomen Fahrens erfüllt vor allem den Trend zu mehr Verkehrssicherheit und dem Ermöglichen eines weiter steigenden Verkehrsaufkommens.

Die Frage nach der Kompatibilität einer Innovation hat zwei Seiten: Auf der einen geht es um die konkrete Kompatibilität zu bestehenden Systemen, was zumeist eine Frage technischer Natur ist. Auf der anderen geht es um eine abstrakte Kompatibilität, die die Übereinstimmung der Innovation mit bestehenden Werten darstellt.

Die Fallstudien haben gezeigt, dass die Kompatibilität häufig auf die rein technische Ebene beschränkt werden kann. Die wertebezogene Kompatibilität ist bei Wirtschaftsunternehmen, die als Adopter auftreten, kein wesentlicher Einflussfaktor für die Adoptionsentscheidung. Gesellschaftliche Einwände, auch moralischer Art, spiegeln sich in der sozio-kulturellen Akzeptanz wider. Je kleiner das Unternehmen ist und je größer die Rolle Einzelner bei der Adoptionsentscheidung wird, desto wichtiger ist auch eine abstrakte Kompatibilität.

Dieser Zusammenhang zwischen dem Adopter und einem Einflussfaktor zeigt sich auch bei der Komplexität. Die Schwierigkeit bei der Übernahme und Integration einer Innovation in ein bestehendes System ist stark von den Voraussetzungen des Adopters (z. B. technisches Verständnis) abhängig. Die Fallstudien bestätigen den Zusammenhang: Je leichter die Übernahme der Innovation erscheint, desto wahrscheinlicher wird diese tatsächlich umgesetzt. Als Indikator der Komplexität kann das Ausmaß der mit einer Adoption einhergehenden Anpassungen der Infrastruktur gesehen werden, wobei ein Neubau mit umfassenden Raumwirkungen eine sehr hohe Komplexität (Transrapid) bedeuten würde, während eine Anpassung der bestehenden Infrastruktur eher eine geringe Komplexität impliziert (autonomes Fahren).

Die Beobachtbarkeit, Erprobbarkeit und Kommunizierbarkeit sind Faktoren, deren Bedeutung besonders bei der Fallstudie zum autonomen Fahren deutlich geworden ist. Sie helfen beim Abbauen gesellschaftlicher Vorurteile und ermöglichen die Demonstration der relativen Vorteilhaftigkeit. Dementsprechend ist ein möglicher Indikator, ob es die Möglichkeit zum Selbstversuch gibt oder ob zumindest ein augenscheinlicher Vergleich möglich ist. In den Fallstudien hat sich gezeigt, dass eine getrennte Betrachtung der Faktoren in der Praxis wenig zweckmäßig ist. Zu eng sind die Faktoren miteinander verknüpft: Die Erprobbarkeit sichert die Beobachtbarkeit und ermöglicht eine gute Kommunizierbarkeit. Zumindest die erstgenannten Faktoren könnten zweckmäßig unter dem Begriff „Sichtbarkeit“ zusammengefasst werden und als Indikatoren für diesen angesehen werden.

Für die Entscheidung zur Adoption einer der analysierten Innovationen ist ein ausreichender Reifegrad von entscheidender Bedeutung. In diesem wird unter anderem die Zuverlässigkeit sichtbar, die im Verkehrswesen einen hohen Stellenwert

hat. Im Fall der Container war diese Reife mit dem erstmaligen Einsatz und der Beobachtbarkeit gegeben. Für das autonome Fahren wie auch für den Transrapid spielen dagegen rechtliche Zulassungen eine große Rolle, mit denen gleichzeitig die Einsatzreife der Innovationen dokumentiert werden kann.

Trotz aller beobachtbarer Vorteile ist die Adoption von Innovationen immer auch mit Risiken verbunden. Diese Risiken sind häufig finanzieller Natur (Investitionsrisiken). Im Fall des Transrapids sind das besonders Kostensteigerungen durch Baurisiken und das Betriebsrisiko, in dem sich die Unsicherheit der Nachfrage (Auslastungsrisiko) wiederfindet. Letzteres war auch für die Adoptoren des Containersystems, sowohl Häfen als auch Reedereien, von großer Bedeutung. Darüber hinaus kann das wahrgenommene Risiko auch Sicherheitsaspekte beinhalten. Diese spielen vor allem bei der Adoption autonomer Fahrzeuge eine große Rolle. Die Verwendung von Sicherheitsaspekten als Indikator des wahrgenommenen Risikos muss auch die Sicherheit persönlicher Daten berücksichtigen.

Das letzte betrachtete innovationsspezifische Merkmal ist die Marktpositionierung des Adoptionsobjektes. Dieses Merkmal war nicht für alle hier betrachteten Innovationen relevant: Der Container war keine Produktinnovation, die für den Markt gedacht war. Vielmehr war eine Verbreitung im Markt anfangs vermutlich gar nicht erwünscht, sodass in diesem Fall eine wirkliche Marktpositionierung nicht stattgefunden hat. Die Marktpositionierung des Transrapids und von autonomen Fahrzeugen steht dabei in einem deutlichen Zusammenhang zu den anderen Verkehrsträgern. Der Transrapid steht in direkter Konkurrenz zum herkömmlichen Schienen- und Luftverkehr, wogegen das autonome Fahren auch als Ergänzung der etablierten Verkehrsmittel gesehen werden kann. Die Platzierung der Innovation in Zusammenhang mit anderen Verkehrsträgern ist hauptsächlich bei Beteiligung und Einfluss politischer Entscheidungsträger wichtig. Die preispolitische Marktpositionierung ist vor allem im Privatsegment ein wesentlicher Faktor bei der Adoptionsentscheidung.

Die für die drei Innovationen durchgeführte qualitative Analyse der innovationsspezifischen Faktoren zeigt deutlich, dass eine getrennte Betrachtung der Faktoren nicht sinnvoll ist. Es geht immer um die Wahrnehmung aller Faktoren in Kombination. Häufig scheinen die Ausprägungen nicht nur zu einem bestimmten Faktor zu

gehören, sondern vielmehr zu mehreren, die darüber hinaus miteinander verknüpft sind. Auch wenn es zum Teil so scheint, als könnten die innovationsspezifischen Merkmale auf die relative Vorteilhaftigkeit und das wahrgenommene Risiko reduziert werden, spielen die anderen Faktoren im Verkehrswesen (z. B. Kompatibilität) eine sehr wichtige Rolle. Falls ein objektiver Vergleich eine relative Vorteilhaftigkeit ergibt, bedeutet dies noch keinesfalls, dass potentielle Adoptoren diese auch in der Form wahrnehmen. Fehlende Kompatibilität und eine hohe Komplexität können die wahrgenommene Vorteilhaftigkeit reduzieren und das wahrgenommene Risiko steigern.

9.1.2 Indikatoren der umweltbezogenen Faktoren

Die Darstellungen der ökonomischen Umwelt der einzelnen Innovationen sind kaum miteinander zu vergleichen. Die Innovationen sind nur für bestimmte Marktsegmente relevant, die sich nur zum Teil überschneiden. Während das Containersystem für den Güterverkehrsmarkt gedacht war, zielte der Transrapid nahezu ausschließlich auf den spurgeführten Personenverkehr. Das autonome Fahren richtet sich dagegen sowohl an den Güter- als auch den Personenverkehr, beschränkt sich dabei jedoch auf den Straßenverkehr. Dass sich daraus eine starke Konkurrenz zu anderen Verkehrsmitteln ergeben kann, ist ein eher sekundärer Effekt. Gemeinsam haben jedoch alle Innovationen, dass der Diffusionsprozess in einer Zeit globalen Wirtschaftswachstums startet bzw. startete, womit meist auch ein Ansteigen der Verkehrsleistung verbunden ist bzw. war (siehe Kapitel 2.3). Als Indikatoren der ökonomischen Umwelt für eine bestimmte Innovation können damit ökonomische Kennzahlen (z. B. BIP, durchschnittliches Einkommen, Geschäftsklimaindex, etc.) verwendet werden. In Verbindung damit können auch Kennzahlen des Verkehrs genutzt werden.

Die politisch-rechtliche Umwelt stellt in diesem Zusammenhang einen wichtigen Faktor dar, da diese über verschiedene finanzpolitische Instrumente Mittel zur Förderung von Innovationen und deren Diffusion bereitstellen kann. Besonders wichtig ist diese Unterstützung für Innovationen wie den Transrapid, die auch eine infrastrukturelle Komponente haben. Darüber hinaus werden rechtliche Hürden zu

einem Bestandteil des Adoptionsprozesses, indem durch das Gewähren von Mitspracherechten im Planungsprozess neben den finanzierenden Parteien zusätzliche Akteure auf eine indirekte Art an der Adoptionsentscheidung beteiligt werden müssen. Grundsätzlich gilt, je größer die Anzahl der direkt und indirekt an der Adoptionsentscheidung beteiligten Akteure, desto größer der Einfluss der Adoptionsumwelt gegenüber den Merkmalen des Adoptionsobjektes.

Die integrierte Entscheidung über Infrastrukturmaßnahmen bei der Adoption von Innovationen führt gleichzeitig zu einer stärkeren Debatte über die Merkmale des Adoptionsobjektes und der technischen Umwelt in der Gesellschaft. Es könnte jedoch bei allen Innovationen die Produktwahrnehmung vor der aktuellen technischen Umgebung die Adoptionsentscheidung negativ oder positiv beeinflussen, weil das Erkennen einer objektiv vorhandenen relativen Vorteilhaftigkeit durch die Eindrücke zu anderen Produkten gestört werden kann. Dies gilt insbesondere in Fällen, in denen die relative Vorteilhaftigkeit von potentiellen Adoptoren nur als gering eingestuft wird. Die technische Umwelt spielt damit auch für die sozio-kulturelle Technikakzeptanz eine große Rolle. Das Einstellen einer solchen Technikakzeptanz in der Gesellschaft wird entweder durch Sicherheitsaspekte oder durch Ängste vor den gesellschaftlichen Effekten einer Innovation behindert.

Durch die möglicherweise weitreichenden Veränderungen von Innovationen im Verkehrssektor auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft haben die umweltbezogenen Innovationsmerkmale womöglich einen größeren Einfluss auf die Adoptionsentscheidung, als bei anderen innovativen Produkten und Prozessen. So haben bei allen hier betrachteten Innovationen, auch dem Containersystem, politische Meinungen und rechtliche Bestimmungen direkten Einfluss auf die Adoptionsentscheidung genommen.

9.2 Innovationsmotoren und Innovatoren

Die in den Fallstudien betrachteten Innovationen stellen vor allem Push-Innovationen dar, die von Angebotsseite in den Markt eingebracht werden. Dennoch unterscheiden sich die den Inventions- und Innovationsprozess auslösenden und vor-

antreibenden Mechanismen. Das Containersystem war das Ergebnis einer Suche nach Wettbewerbsvorteilen in einem funktionierenden und umkämpften Markt. Mit dessen Umsetzung stieß der innovierende Unternehmer in ein neues Marktsegment vor. Zuvor hatte jedoch das Militär bereits erste Erfahrungen mit dem grundlegenden Prinzip des containerisierten Gütertransportes gemacht. Nach der ersten kommerziellen Anwendung war es wieder das Militär, dass durch umfangreiche Auftragsvergaben die Grundlage für die weltweite Diffusion legte. Ähnlich sieht die Entwicklung autonomer Fahrzeuge aus. Die ersten wirklich automatisierten Fahrzeuge wurden durch das Militär entwickelt und zum Einsatz gebracht. Die kommerzielle Entwicklung wurde in diesem Fall jedoch durch den Vorstoß externer Unternehmen angeschoben. Sowohl beim Container als auch beim autonomen Fahrzeug haben also Unternehmer bzw. Unternehmen, die ursprünglich nicht in dem entsprechenden Markt(-segment) tätig waren, die Entwicklung und Diffusion einer Innovation angetrieben.

Bemerkenswert ist, dass der Container die zuvor angewandte Methode des Stückgutverkehrs nahezu vollständig verdrängt hat und dass für das autonome Fahren eine ebenso verdrängende Wirkung erwartet wird. Beide wirken damit disruptiv und erfüllen eine wesentliche Eigenschaft disruptiver Innovationen, die in der Regel nur von außenstehenden Unternehmern erfolgreich umgesetzt werden.

Außerdem ist die räumliche Perspektive auf Innovationen und deren Diffusion interessant. Die weltweite Ausbreitung des Containersystems ist von Amerika ausgegangen. Und auch beim autonomen Fahren kann bereits jetzt festgestellt werden, dass Amerika eine Vorreiterrolle einnimmt. Es herrscht dort offensichtlich ein Innovationen begünstigendes gesellschaftliches und politisches Klima. Testfahrten mit autonomen Fahrzeugen im regulären Straßenverkehr finden dort schon seit längerem statt, während solche in Europa rechtlich noch nicht möglich sind. Allein die rechtlichen Rahmenbedingungen beeinflussen folglich die Entwicklung und Diffusion von Innovationen erheblich.

Eine Rolle als Innovationstreiber nehmen Staat und Politik darüber hinaus durch das Gewähren von Subventionen ein. Die Entwicklung des Transrapsids wäre ohne staatliche Hilfen nicht so weit gekommen. Obwohl der Transrapid bisher in Deutschland nicht realisiert wurde, war doch der politische Wille zur Umsetzung

enorm. Durch das Hinterfragen der Ausgaben öffentlicher Mittel zur Erforschung innovativer Technologien durch die Öffentlichkeit wird den politischen Entscheidungsträgern eine Art Lieferschuld auferlegt. Der Beweis, dass die finanzielle Unterstützung zur Entwicklung des Transrapids gerechtfertigt war, sollte durch den Bau einer entsprechenden Strecke erbracht werden. Der Transrapid ist damit ein Beweis dafür, dass die Adoptionsumwelt eine erfolgreiche Diffusion nicht garantieren kann.

Durch die Finanzkraft des Staates, auch in Form des Militärs, ist die Politik als entwicklungsfördernder Akteur und als Erstabnehmer eine treibende Kraft für Innovationen im Verkehrssektor. Die Ziele der Politik sind dabei häufig wirtschaftlicher Natur, sodass mögliche Innovationen im Verkehrssektor häufig in Verbindung mit wirtschaftsbezogenen Themen (z. B. Wettbewerbsfähigkeit, Erwerbstätigkeit) aufgegriffen werden. Die in Kapitel 2 beschriebene Bedeutung des Verkehrs aus unterschiedlichen Gesichtspunkten zeigt sich auch in der Politik, wo Verkehrspolitik häufig als Bestandteil der Wirtschaftspolitik gesehen wird, jedoch auch „die Raum- und Siedlungspolitik, [...] die Arbeits- und Unternehmenspolitik, die Forschungs- und Technologiepolitik wie auch Sozial- und Finanzpolitik“ (Schöller 2007b) in sich vereint. Die Vielfältigkeit der Verkehrspolitik und die daraus resultierenden Ansprüche an und Einflüsse auf Innovationen sind umfangreich und bedürfen einer weitergehenden Untersuchung.

10 Fazit und Ausblick

Der Wandel zu einer nachhaltigen Gesellschaft erfordert besonders im Verkehrswesen innovative Ansätze, um den ökonomischen, ökologischen und sozialen Anforderungen weiterhin gerecht zu werden. Innovationen und deren erfolgreiche Verbreitung sind notwendige Voraussetzung zum Gelingen dieser großen gesellschaftlichen Transformation.

Aus der wirtschaftswissenschaftlichen Innovations- und Diffusionsforschung sind allgemeine Faktoren bekannt, die den Diffusionsverlauf vornehmlich durch Beeinflussung der Adoptionsentscheidung mitbestimmen. In Fallstudien wurden gescheiterte und erfolgreiche, vergangene und aktuelle Innovationen auf die Erfüllung dieser Erfolgsfaktoren untersucht.

Auch bei Verkehrsinnovationen lassen sich die wesentlichen Elemente der Innovationstheorie wiederfinden, sodass deren Anwendbarkeit auch im Verkehrssektor angenommen werden kann. In den Fallstudien bestätigt sich unter anderem Schumpeter's Erklärung des wirtschaftlichen Wandels durch Innovationen. Darüber hinaus entsprechen die in anderen Branchen beobachteten Muster bei der Entwicklung von Innovationen und deren Diffusion auch denen im Verkehrswesen. Dazu gehören neben dem typischen S-Kurven-Verlauf der Diffusion vor allem Probleme wie die Nutzer-Akzeptanz oder die Schwellenproblematik für Netzeffekt- und Systemgüter.

In der Vergangenheit wurde die Entwicklung von Verkehrsinnovationen meist durch bedeutende Basisinnovationen und externe Veränderungen in der gesellschaftlichen und ökonomischen Umwelt ausgelöst und von Anbieterseite vorangetrieben. Die Innovationen ermöglichten immer schnellere, weitere, mehr, billigere und sicherere Transporte bzw. Beförderungen.

Das Entsprechen einer Innovation zu diesen Trends kann auch heute noch als Hin-

weis auf die relative Vorteilhaftigkeit gesehen werden. Diese zählt zusammen mit der Kompatibilität, Komplexität, Sichtbarkeit, dem Reifegrad und dem wahrgenommenen Risiko zu den wesentlichen innovationsspezifischen Erfolgsfaktoren, die zu den empirisch ermittelten Einflüssen auf die Adoptionsentscheidung gehören.

Neben der Eignung der Trends als Indikatoren für die relative Vorteilhaftigkeit konnten auch für die anderen Faktoren gemeinsame Indikatoren ausgemacht werden, die für Innovationen im Verkehrswesen eine besondere Rolle einnehmen können. Dazu gehört der Umfang einer notwendigen Infrastrukturanpassung als Indikator der Komplexität oder die Verwendung von ökonomischen oder verkehrlichen Kennzahlen zur Beschreibung der ökonomischen Umwelt.

Allgemein scheint bei Verkehrsinnovationen die Adoptionsumwelt gegenüber den Merkmalen des Adoptionsobjekts eine etwas wichtigere Rolle einzunehmen, als es bei Innovationen mit geringeren Wirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Soziales der Fall daherkommt. Wie groß die Gewichtung der Indikatoren zunächst bei der Bewertung des einzelnen Einflussfaktors und anschließend bei der Bewertung der Innovation ist, ist aber nicht zu beantworten. Neben Unterschieden zwischen Innovationen sind dafür vor allem die Eigenschaften des Adoptionssubjekts für eine Gewichtung zu berücksichtigen.

Innovations- und Diffusionsprozesse präsentieren sich damit als komplexe Systeme, in denen es zu vielfältigen Wechselbeziehungen kommt. Ein erneuter Vergleich von Innovationen der selben Art, d. h. mit gleichen oder zumindest ähnlichen Eigenschaften hinsichtlich des Potentials zur verkehrlichen Veränderungen sowie hinsichtlich der Adoptoren, könnte die Grundlage für eine Bewertung der Wichtigkeit der Einflussfaktoren bilden.

Um eine solche Untersuchung zu ermöglichen, müssten allerdings zunächst entsprechende Kriterien zur Einstufung von Innovationen im Verkehrssektor entwickelt werden. Die traditionelle Einteilung des Verkehrssektors in Personen- und Güterverkehr, ÖV und IV, etc. scheint dafür nicht ausreichend, da sich auch zwischen diesen Bereichen immer wieder Überschneidungen und Wechselwirkungen offenbaren. Die notwendige Übersicht für eine zielführende Beeinflussung der Adoptionsentscheidung innerhalb dieses komplexen Systems ist kaum zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- Abele, Thomas und Astrid Ecke (2013). *Erfolgsfaktoren von Innovationen in reifen Märkten*. Hrsg. von MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH. Essen.
- Aberle, Gerd (2009). *Transportwirtschaft – Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen*. 5., überarb. und erg. Aufl. Wolls Lehr- und Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. München: Oldenbourg.
- Armingier, Micheael (2014). „Chancen- und Risikomanagement bei ausgewählten Infrastrukturprojekten“. Diss. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.
- Barthes, Roland (2002). *Œuvres complètes – 1962-1967 Livres, Textes, Entretiens*. Nouv. éd. Paris: Seuil.
- Bartsch, Bernd (2013). „Enttäuscht: Shanghai bereut die Transrapid-Bahn“. In: *Augsburger Allgemeine* 04.02.2013.
- Becker, Joachim (2015). „Zum passiven Beifahrer degradiert – Selbstfahrende Autos“. In: *Süddeutsche Zeitung* 01.03.2015.
- Beiker, Sven A. (2015). „Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 197–217.
- Bengler, Klaus u. a. (2012). *Die Zukunft der Fahrerassistenz – Ein Strategiepapier der Uni-DAS*. Hrsg. von Uni-DAS e.V.
- Blättel-Mink, Birgit und Raphael Menez, Hrsg. (2015). *Kompendium der Innovationsforschung*. 2. Aufl. 2015. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Briken, Kendra (2015). „Gesellschaftliche (Be-)Deutung von Innovation“. In: *Kompendium der Innovationsforschung*. Hrsg. von Birgit Blättel-Mink und Raphael Menez. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 21–31.
- Büchler, Markus (2006). *Nein zum Transrapid in München vom Hauptbahnhof zum Flughafen Positionspapier*. München.

- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Hrsg. (2012). *Verkehr in Zahlen 2012/2013*. Hamburg.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Hrsg. (2003). *Bundesverkehrswegeplan 2003 – Grundlagen für die Zukunft der Mobilität in Deutschland*. Berlin.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hrsg. (2016). *Ausblick: Ausbaugesetze und nachgeordnete Planungsverfahren*. Berlin.
- Hrsg. (2015). *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren – Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten*. Berlin.
- Bundesnetzagentur, Hrsg. (2013). *Marktuntersuchung – Eisenbahnen 2013*. Bonn.
- BVU Beratergruppe u. a. (2014). *Verkehrsverflechtungsprognose 2030 Abschlussbericht - Los 3*. Hrsg. von Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Cyganski, Rita (2015). „Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren aus Sicht der Nachfragemodellierung“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 241–263.
- Doll, Nikolaus (2008). „Wie die Bahn den Transrapid ausgebremst hat – Zu viel Risiko“. In: *Die Welt* 3.04.2008.
- (2015). „Schon in fünf Jahren gibt es das fahrerlose Auto“. In: *Die Welt*.
- Eisenbahn-Bundesamt, Hrsg. (2016a). *Fahrzeuge und Betrieb*. Bonn.
- Hrsg. (2016b). *Planfeststellung*. Bonn.
- Färber, Berthold (2015). „Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 127–146.
- Flämig, Heike (2015). „Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 377–398.
- Fraedrich, Eva und Barbara Lenz (2015a). „Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 639–660.
- (2015b). „Vom (Mit-)Fahren: autonomes Fahren und Autonutzung“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 687–708.

- Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, Hrsg. (2014). *Verkehrslogistik – Infobrief*. Dortmund.
- Friedrich, Bernhard (2015). „Verkehrliche Wirkung autonomer Fahrzeuge“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 331–350.
- Funck, Rolf (1970). „Containertransport und die Verkehrspolitik der Gegenwart“. In: *Universitas* 5, S. 493–498.
- Gasser, Tom Michael (2015). „Grundlegende und spezielle Rechtsfragen für autonome Fahrzeuge“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 543–574.
- Gasser, Tom Michael u. a. (2014). *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung*. Hrsg. von Bundesanstalt für Straßenwesen. Gladbach.
- Gäthke, Sönke (2008). „Ende eines Traums – Transrapid“. In: *Zeitonline* 31.03.2008.
- Grunwald, Armin (2015). „Gesellschaftliche Risikokonstellation für autonomes Fahren – Analyse, Einordnung und Bewertung“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 661–685.
- Grünweg, Tom (2013). „Ausfahrt mit Autopilot – Selbststeuernder Wagen“. In: *Spiegel Online* 09.09.2013.
- (2015). „Autopilot auf Achse – Unterwegs im selbstfahrenden Lkw“. In: *Spiegel Online* 06.05.2015.
- (2016-07-25). „Hier macht gerade der Fortschritt halt – Autonome Busse“. In: *Spiegel Online*.
- Hofbauer, Günter (2004). *Erfolgsfaktoren bei der Einführung von Innovationen*. Ingolstadt.
- Johanning, Volker und Roman Mildner (2015). *Car IT kompakt – Das Auto der Zukunft - vernetzt und autonom fahren*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kaiser, Arvid (2014). „Japans Magnetbahn soll US-Verkehrskollaps verhindern – Megaprojekt“. In: *Manager Magazin* 27.10.2014.
- Kaiser, Stefan (2016-07-01). „Zusammenstoß mit Lkw – Tödlicher Unfall mit Tesla-Autopilot“. In: *Spiegel Online*.
- Kröger, Fabian (2015). „Das automatisierte Fahren im gesellschaftsgeschichtlichen und kultur-wissenschaftlichen Kontext“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 41–67.

- Küffner, G. (2013). *Spitzentechnik in Deutschland: Von Der Forschung Zur Anwendung*. Gabler Verlag.
- Kuhn, Helmut (2009). „Innovationen im Verkehr – Container, Kühlkette und Telematikanwendungen“. In: *Geographie und Schule* 31.179, S. 4–12.
- Maurer, Markus u. a., Hrsg. (2015). *Autonomes Fahren – Technische rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Merki, Christoph Maria (2008). *Verkehrsgeschichte und Mobilität*. Bd. 3025 : Profile. UTB. Stuttgart: Ulmer.
- Minx, Eckard P. W. und Rainer Dietrich (2015). *Autonomes Fahren – Wo wir heute stehen und was noch zu tun ist*. Ladenburg: Alex Springer SE.
- Obermaier, Robert, Felix Müller und Helmut Braun (2008). „Der Container als Artefakt eines Transportparadigmas – Akteure und Diffusionsphasen“. In: *Logistikmanagement*. Hrsg. von Andreas Otto und Robert Obermaier. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, S. 309–345.
- Pavone, Marco (2015). „Autonomous Mobility-on-Demand Systems for Future Urban Mobility“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 399–416.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, Hrsg. (2016). *Rechtssicherheit für automatisiertes Fahren*. Berlin.
- Reutter, Ulrike (2015). *Mobilität und Verkehr: Worüber reden wir?* Wuppertal.
- Schach, Rainer, Peter Jehle und René Naumann (2006). *Transrapid und Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbahn – Ein gesamtheitlicher Systemvergleich*. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schmidt, Sabine (2009). *Die Diffusion komplexer Produkte und Systeme – Ein systemdynamischer Ansatz*. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Schöller, Oliver, Hrsg. (2007a). *Handbuch Verkehrspolitik*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- (2007b). „Verkehrspolitik: Ein problemorientierter Überblick“. In: *Handbuch Verkehrspolitik*. Hrsg. von Oliver Schöller. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss, S. 17–42.

- Schreiber, Hermann (1972). *Verkehr Wissenschaftler planen die Zukunft*. Wissenschaftler planen die Zukunft. Darmstadt: Carl Habel Verlag.
- Schreurs, Miranda A. und Sibyl D. Steuwer (2015). „Autonomous Driving – Political, Legal, Social, and Sustainability Dimensions“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 151–173.
- Schuh, Günther, Hrsg. (2011). *Technologiemanagement*. 2., vollst. neu bearb. u. erw. Aufl. Bd. 2. Handbuch Produktion und Management. Berlin: Springer.
- Schulz, Wolfgang H. (2004). *Industrieökonomik und Transportsektor – Marktdynamik und Marktanpassungen im Güterverkehr*. Köln: Kölner Wiss.-Verl.
- Schumpeter, Joseph A. (1912). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Leipzig: Duncker & Humblot.
- Spiegel Online, Hrsg. (2014). *Japan baut erste Magnetschwebbahn-Verbindung – Bis zu 500 km/h schnell*. Hamburg.
- Springer Gabler Verlag, Hrsg. (2016). *Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Verkehr*. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt, Hrsg. (2015). *Verkehr – Verkehr im Überblick*. Wiesbaden.
- Hrsg. (2016). *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Bruttoinlandsprodukt ab 1970 Vierteljahres- und Jahresergebnisse*. Wiesbaden.
- Stock, Wilfried und Tobias Bernecker (2014). *Verkehrsökonomie – Eine volkswirtschaftlich-empirische Einführung in die Verkehrswissenschaft*. 2., vollst. überarb. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Stuhr, Helge Johannes (2013). „Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung“. Diss. Berlin: Technische Universität Berlin.
- Uchatius, Wolfgang (2012). „Die Zukunft von gestern – Transrapid“. In: *Die Zeit* 29.12.2011.1/2012.
- Umweltbundesamt, Hrsg. (2012). *Daten zum Verkehr Ausgabe 2012*. Berlin.
- Vahs, Dietmar und Alexander Brem (2015). *Innovationsmanagement – Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung*. 5., überarb. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Verband der Automobilindustrie e. V., Hrsg. (2015). *Jahresbericht 2015*. Berlin.

- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, Hrsg. (2015). *Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge – Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen Positionspapier*. Köln.
- Vieweg, Christof (2015). „Wer hat das Roboterauto erfunden? Die Bundeswehr! Autonomes Fahren“. In: *Zeitonline* 31.07.2015.
- Wachenfeld, Walther und Hermann Winner (2015). „Die Freigabe des autonomen Fahrens“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 439–464.
- Wachenfeld, Walther, Hermann Winner u. a. (2015). „Use-Cases des autonomen Fahrens“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 9–37.
- Wallentowitz, Henning, Arndt Freialdenhoven und Ingo Olschewski (2009). *Strategien in der Automobilindustrie – Technologietrends und Marktentwicklungen*. 1. Aufl. Studium. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Weckwerth, Joachim (1999). *Eine nachfrageorientierte Innovationstheorie*. Bd. 487. Volkswirtschaftliche Schriften. Berlin: Duncker & Humblot.
- Welsch, Johann (2005). *Innovationspolitik – Eine problemorientierte Einführung*. 1. Aufl. Lehrbuch. Wiesbaden: Gabler.
- Winkle, Thomas (2015a). „Entwicklungs- und Freigabeprozess automatisierter Fahrzeuge – Berücksichtigung technischer, rechtlicher und ökonomischer Risiken“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 611–635.
- (2015b). „Sicherheitspotenzial automatisierter Fahrzeuge: Erkenntnisse aus der Unfallforschung“. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von Markus Maurer u. a. Bd. 351–376. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Hrsg. (2011). *Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation Hauptgutachten 2011*. 2., veränd. Aufl., Red.-Schluss: 17.03.2011. Welt im Wandel. Berlin.
- World Trade Organization, Hrsg. (2015). *International Trade Statistics 2015*. Genf.

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Adaptive Cruise Control
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BIC	Bureau International des Conteneurs
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BPA	Bundespresseamt
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
C2C	Car2Car
C2X	Car2Infrastructure
CO₂	Kohlendioxid
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FAS	Fahrzeugassistenzsystem
ft	Fuß (Längenmaß)
GG	Grundgesetz

GM	General Motors
ICE	InterCity Express
IMO	International Maritime Organization
ISO	International Organization for Standardization
IV	Individualverkehr
JR	Japan Rail
Lkw	Lastkraftwagen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NMIV	Nicht-Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖPP	Öffentlich Private Partnerschaft
ÖV	Öffentlicher Verkehr
pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
t	Tonnen
TGV	Train à Grande Vitesse
tkm	Tonnenkilometer
USD	US-Dollar
VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V.
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

WTO World Trade Organization

Abbildungsverzeichnis

1.1 Gliederung und Aufbau	2
2.1 Entwicklung der Güterverkehrsleistung seit 1991	4
2.2 Veränderung der Güterverkehrsleistung und des BIP gegenüber 1991	6
2.3 Mehrebenenmodell von Transformationsprozessen	7
3.1 Ausgewählte Inventionen im Verkehr	10
4.1 <i>Kondratieff</i> -Zyklen	14
4.2 Adoptionskurve	18
4.3 Diffusionskurve	18
5.1 Wirken der gruppierten Einflussfaktoren	23
7.1 Wirken der Vorteilhaftigkeit bei Adoption des Containersystems	44
7.2 Containerisierungsgrad des Hamburger Hafens 1956–2006	54
8.1 Grade der Automatisierung und ihre Definition	58
8.2 Wechselbereitschaft zugunsten verschiedener Versionen des autonomen Fahrens	72

Tabellenverzeichnis

4.1 Einflüsse einer erfolgreichen Innovation	20
6.1 Vorteilhaftigkeit des Transrapids gegenüber dem ICE	28
6.2 Wirkungen der Einflussfaktoren auf die Diffusion des Transrapids	39
7.1 Wirkungen der Einflussfaktoren auf die Diffusion des Containersystems	52
8.1 Wirkungen der Einflussfaktoren auf die Diffusion des Autonomen Fahrens	77
9.1 Übereinstimmung der Innovationen mit den historischen Trends	81