

INFRASTRUKTUR DER ZUKUNFT

Eine Studie im Rahmen des

MASTERPLAN 2030



INFRASTRUKTUR DER ZUKUNFT

Eine Studie im Rahmen des

MASTERPLAN 2030

Studienpate: Huawei Technologies Deutschland GmbH

Erstellt vom Handelsblatt Research Institute
Sabine Haupt, Dr. Sven Jung, Dr. Jörg Lichter,
Dr. Frank Christian May

INHALT

Vorwort Prof. Dr. Dr. h. c. Bert Rürup	10
Vorwort Walter Haas	12
Executive Summary	14

01

Einleitung	20
-------------------	-----------

02

Funktion und Bedeutung der Infrastruktur für Wirtschaft und Gesellschaft	22
---	-----------

2.1 Infrastruktur – was ist das?	23
---	-----------

2.2 Ökonomische Besonderheiten der Infrastruktur	24
---	-----------

2.2.1 Versunkene Fixkosten als Risikofaktor und Marktzutrittsschranke	24
2.2.2 Natürliche Monopole	25
2.2.3 Kollektivgüter	26
2.2.4 Netzwerkeffekte	27
2.2.5 Interdependenzen zwischen Anwendungsmöglichkeiten und infrastrukturellen Voraussetzungen	29

2.3 Volkswirtschaftliche Bedeutung der Infrastruktur	29
---	-----------

2.4 Anforderungen an die Infrastruktur im Wandel der Zeit	33
--	-----------

2.5 Formen der Infrastrukturbereitstellung	34
---	-----------

Status quo der Infrastruktur in Deutschland

36

3.1 Straßen

38

3.2 Schienen und Binnenwasserstraßen

46

3.2.1 Schienen

47

3.2.2 Binnenwasserstraßen

53

3.3 Digitale Infrastruktur

55

3.3.1 Breitbandnetze

55

3.3.2 Rechenzentren

65

3.4 Ausbaupläne

69

3.4.1 Verkehrsinfrastruktur

69

3.4.2 Digitale Infrastruktur

72

3.5 Aktuelle Finanzierung

73

3.5.1 Verkehrsinfrastruktur

73

3.5.2 Privatwirtschaftliche Finanzierung der
digitalen Infrastruktur: Das Prinzip des
„Infrastrukturwettbewerbs“

75

3.5.3 Staatliche Förderung des Breitbandausbaus

76

INHALT

04

Infrastrukturbedarf in Deutschland in den nächsten Jahren 84

4.1 Vorgehen bei der Bedarfsermittlung 85

4.2 Personenmobilität 87

4.3 Gütermobilität 97

4.4 Industrielle Produktion 101

4.5 E-Government 106

4.6 Ableitung des Infrastrukturbedarfs 110

05

Potenzial der künftigen Infrastruktur in Deutschland für Wirtschaft und Gesellschaft 122

5.1 Potenzial für die Wirtschaft 123

5.2 Potenzial für die Gesellschaft 138

06

Herausforderungen beim Infrastrukturausbau 146

6.1 Baukapazität 147

6.2 Regulierung 148

6.3 Finanzierungsbedarf 154

07

Gesellschaftlicher Widerstand bei der Modernisierung der Infrastruktur 157

7.1 Schienenverkehr 160

7.2 Autobahnbau 161

7.3 Hafenausbau 161

7.4 5G-Netzausbau 163

08

Handlungsoptionen 164

8.1 Planungs- und Genehmigungsverfahren 165

8.2 Umgang mit gesellschaftlichen Widerständen 167

8.3 Verkehrsinfrastruktur 170

8.3.1 Investitionsmittel und Finanzierung 170

8.3.2 Ausbau und Erneuerung 173

8.3.3 Kapazitätserweiterung des bestehenden Netzes 175

8.4 Digitale Infrastruktur 177

8.4.1 Leitungsgebundene Infrastrukturen 178

8.4.2 Mobilfunkinfrastruktur 189

8.4.3 Rechenzentren und Internetknoten 191

Literatur 194

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Öffentlich-private-Partnerschaften (ÖPP) – Bundesfernstraßen: Pilotprojekte und weitere Vorhaben	39
Abbildung 2: Zustand der Fahrbahnen auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen	44
Abbildung 3: Anteile des Schienenverkehrs und der Binnenschifffahrt an der Güterverkehrsleistung	46
Abbildung 4: Schieneninfrastruktur-Investitionen im Ländervergleich	52
Abbildung 5: Schieneninfrastruktur-Investitionen in Deutschland	52
Abbildung 6: Investitionen in Schienen oder Straßen in der DACH-Region	53
Abbildung 7: FTTH/B-Abdeckung in Europa	56
Abbildung 8: Inanspruchnahme von Glasfaseranschlüssen in Deutschland	57
Abbildung 9: Der Einsatz von Glasfaser in Breitbandnetzen	57
Abbildung 10: Breitbandverfügbarkeit in Deutschland	59
Abbildung 11: Datenspeicherung und -verarbeitung in Deutschland	66
Abbildung 12: Bundesverkehrswegeplan 2030 vs. 2003	71
Abbildung 13: Bruttoanlageinvestitionen – Verkehrsinfrastruktur	73
Abbildung 14: Investitionen auf dem deutschen Telekommunikationsmarkt	76
Abbildung 15: Entwicklung der Personenmobilität – lineares Szenario	88
Abbildung 16: Entwicklung der Bedeutung der einzelnen Verkehrsträger der Personenmobilität – lineares Szenario	85
Abbildung 17: Entwicklung der Personenmobilität – grünes Szenario	90

Abbildung 18: Entwicklung der Bedeutung der einzelnen Verkehrsträger der Personenmobilität – grünes Szenario	91
Abbildung 19: Level des automatisierten Fahrens (Automatisierungsgrad)	93
Abbildung 20: Kommunikationsstandard fürs Auto – Zwei Lager bei den Herstellern	95
Abbildung 21: Entwicklung der Gütermobilität – lineares Szenario	98
Abbildung 22: Entwicklung der Bedeutung der einzelnen Verkehrsträger der Gütermobilität – lineares Szenario	99
Abbildung 23: Entwicklung der Gütermobilität – grünes Szenario	100
Abbildung 24: Entwicklung der Bedeutung der einzelnen Verkehrsträger der Gütermobilität – grünes Szenario	100
Abbildung 25: Entwicklung des Netzbedarfs und der Anzahl vernetzter Geräte in Deutschland	102
Abbildung 26: EU-Digitalisierungsindex E-Government 2019	107
Abbildung 27: Zusammenhang der Entwicklung des Internets und des E-Governments	109
Abbildung 28: Personenlandverkehr 2017	111
Abbildung 29: Güterverkehr 2017	111
Abbildung 30: Bruttowertschöpfung in Deutschland – Potenzial der Digitalisierung	132
Abbildung 31: Einsparpotenziale bei verschiedenen Kostenarten im Zuge der Digitalisierung	133
Abbildung 32: Sollte zukünftig stärker in den Ausbau des Schienenverkehrs oder des Straßenverkehrs investiert werden?	157

Vorwort

Infrastruktur steht für die Summe der institutionellen, organisatorischen und sozialen Voraussetzungen, die für den Bestand und die erfolgreiche Weiterentwicklung einer Gesellschaft notwendig sind.

Hochwertige Verkehrsnetze, Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen sowie Kommunikationssysteme gelten daher zu Recht als zentrale Voraussetzungen für die erfolgreiche wirtschaftliche Entwicklung einer Volkswirtschaft.

Solche, die Wachstumschancen des Landes deutlich verbessernde Investitionen wären heute wichtiger denn je. Denn seit eineinhalb Jahren befindet sich die deutsche Industrie in einer veritablen Rezession. Der im Frühjahr 2009 einsetzende und bislang längste und ungemein beschäftigungsintensive Aufschwung ist zu Beginn des Jahres 2018 ausgelaufen.

Viel problematischer als solch ein zyklischer Abschwung ist jedoch, dass das Wachstumspotenzial der deutschen Volkswirtschaft in den kommenden Jahren spürbar zurückgehen dürfte. Die Gründe für die damit verbundene nachlassende gesamtwirtschaftliche

A portrait of Prof. Dr. Dr. h.c. Bert Rürup, an older man with glasses, wearing a dark suit, white shirt, and patterned tie. The portrait is partially obscured by the text on the right and the signature at the bottom left.

Bert Rürup

Prof. Dr. Dr. h.c. Bert Rürup

Präsident des Handelsblatt Research Institutes

Wissenschaftlicher Leiter des MASTERPLAN 2030

Dynamik sind neben dem Mitte des kommenden Jahrzehnts einsetzenden und etwa 30 Jahre anhaltenden Alterungsschub der Bevölkerung die wachstumspolitischen Versäumnisse der drei letzten Bundesregierungen. Seit dem Ende der Finanzkrise vor gut zehn Jahren wurde Klientelpolitik groß- und Wachstumspolitik kleingeschrieben.

Diese beiden Wachstumshemmnisse werden durch die sich abzeichnenden geopolitischen Verwerfungen verschärft, konkret durch das Ende der Globalisierung, von der kein anderes großes Industrieland so stark profitiert hat wie Deutschland. Mit der traditionell stark exportabhängigen deutschen Industrie gerät die gesamte deutsche Volkswirtschaft daher gleich von mehreren Seiten unter Druck. Der große Globalisierungsgewinner könnte nun zu einem großen Verlierer der De-Globalisierung werden. Hinzu kommt, dass Wettbewerber vor allem aus China deutsche Anbieter in einigen Bereichen mittlerweile ein- oder gar überholt haben. Womöglich braut sich über Deutschland also gerade so etwas wie ein „perfekter Sturm“ zusammen.

Sicher, Deutschland ist noch immer ein exzellenter Wirtschaftsstandort. Aber es muss bezweifelt werden, ob heute der Befund des DIW von vor zehn Jahren noch gilt, nach dem es kein Industrieland gibt, „in dem der Wertschöpfungsanteil der hochtechnologischen wissensbasierten Produkte höher ist als in Deutschland“.

Um diesen gesamtwirtschaftlichen Herausforderungen begegnen zu können, wäre eine gleichermaßen leistungsfähige und zukunftssichere Verkehrsinfrastruktur und digitale Infrastruktur von entscheidender Bedeutung.

Tatsächlich sind jedoch ein Großteil der deutschen Autobahnbrücken sanierungsbedürftig, das Schienennetz der Bahn rund um die Ballungszentren überlastet und die wichtigsten Autobahnen nicht nur in Spitzenzeiten überfüllt. Kurzum, große Teile der Verkehrsinfrastruktur sind dem gestiegenen und weiter steigenden Verkehrsaufkommen nicht gewachsen.

Fast noch bedenklicher ist der Zustand der digitalen Infrastruktur. Alle wichtigen Vergleichsstudien testieren dem Standort Deutschland in diesem Punkt einen erschreckenden Rückstand zu den technologischen Vorreitern, und dies gilt sowohl für die Festnetze als auch für die Mobilfunknetze.

Diese Defizite gilt es schnellstmöglich abzubauen, zumal in Kürze die digitale Infrastruktur nicht mehr nur für die Übermittlung von Informationen und Daten benötigt wird, sondern zur notwendigen Voraussetzung für zahlreiche neue Anwendungen werden wird- angefangen bei der medizinischen Versorgung, über Mobilität bis hin zur industriellen Produktion, der landwirtschaftlichen Erzeugung und nicht zuletzt der sozialen Teilhabe und des gesellschaftlichen Diskurses.

Angesichts des steigenden Problemdrucks wünsche ich der vorliegenden Studie sehr viele aufmerksame Leser.

Liebe Leserinnen und Leser,

**wir dürfen die Zukunft nicht
einfach geschehen lassen.
Zukunft will gestaltet werden.**

Nur dann werden sich unser Leben, unsere Wirtschaft,
unsere Gesellschaft und unsere Umwelt verbessern.
Deutschland war und ist ein exzellenter Wirtschaftsstand-
ort. Und soll es auch künftig bleiben.

Aber dafür braucht unser Land ein qualitativ hochwertiges
Netz aus Straßen, Schienen- und Wasserwegen sowie
insbesondere eine leistungsfähige digitale Infrastruktur.
Bröckelnde Brücken und Funklöcher zeigen jedoch: In
beiden Bereichen gibt es Nachholbedarf.

A portrait of Walter Haas, a middle-aged man with glasses, wearing a dark suit, white shirt, and patterned tie. The image is monochromatic with an orange tint.

W. Haas

Walter Haas

Chief Technology Officer (CTO) Huawei
Technologies Deutschland GmbH

Daher unterstützt unser Unternehmen das Projekt „Masterplan 2030“ des Handelsblatt Research Institutes (HRI) ausgesprochen gerne. Denn die Studie beleuchtet nicht nur den Status quo auf den wichtigsten Zukunftsfeldern – sondern gibt Politik und Wirtschaft mit ihren fundierten Analysen ein Pflichtenheft an die Hand. Und damit eine Orientierungshilfe für kommende Zeiten.

Die Teilstudie „Infrastruktur der Zukunft“ bestätigt, wovon wir bei Huawei schon lange überzeugt sind: Für unseren gesellschaftlichen Wohlstand sind digitale Infrastrukturen mindestens genauso wichtig wie Straßen oder gute Schienenverbindungen. Mehr noch: Wer die traditionelle Infrastruktur optimieren möchte, sollte in die intelligente – heißt: digitale – Verkehrssteuerung investieren. Und zusätzlich traditionelle Bereiche wie die öffentliche Verwaltung, den Bildungssektor oder die Gesundheitssparte transformieren.

Die vorliegende Studie zeigt aber auch: Wenn wir Telemedizin, OP-Roboter oder vernetzte industrielle Anlagen ermöglichen wollen, müssen wir in Deutschland jetzt ganz massiv investieren. Konkret: Wir sollten schnellstmöglich unser Glasfasernetz verdichten und den Ausbau des neuen Mobilfunkstandards 5G im Sinne dieser Studie insbesondere auch entlang der Verkehrsinfrastrukturen forcieren. 5G ist ein wichtiges Stichwort: Das Netz schafft die Voraussetzungen für Smart-City-Konzepte, optimiert Industrie-4.0-Anwendungen und ermöglicht eine nachhaltige Mobilität. Nebenbei bemerkt: Mit einer guten digitalen Infrastruktur lassen sich auch abgehangene Regionen aufwerten.

Leider sind wir noch nicht so weit. Im Länder-Ranking des Weltwirtschaftsforums in Sachen Wettbewerbsfähigkeit sind wir gerade von Rang drei auf Platz sieben abgerutscht. Das passierte innerhalb nur eines Jahres. Zwar halten sich unsere Unternehmen mit ihrer Innovationskraft noch an der Spitze, doch die Position bei Internetverbindungen über Glasfaser oder der mobilen Breitbandversorgung entspricht nicht dem Anspruch, den wir als starkes Wirtschaftsland haben. Auch im jüngsten Digital Economy and Society Index (DESI) können wir, die größte Volkswirtschaft der EU, mit den digitalen Vorreitern aus Skandinavien nicht mithalten. Die Folge: ein Platz im Mittelfeld.

Das müssen wir ändern. Sollen unsere Konzerne, unsere Hidden Champions und unser traditionell starker Mittelstand nicht an Glanz und Wettbewerbsfähigkeit einbüßen, dürfen wir weder unsere Verkehrs- noch unsere digitale Infrastruktur am heutigen Bedarf ausrichten, sondern größer denken. Eben in die Zukunft.

Die Studie ist dafür ein guter Wegweiser.
Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre.

Ihr Walter Haas

Executive Summary

Unter dem **Begriff „Infrastruktur“** werden alle staatlichen und privaten Einrichtungen und Organisationen subsummiert, die die wirtschaftlichen und organisatorischen Grundlagen eines Gemeinwesens bilden.

In dieser Studie liegt der Fokus auf der **landgebundenen Verkehrsinfrastruktur** sowie der **digitalen Infrastruktur**, die „Konnektivität“ herstellen: physische Transportverbindungen oder virtuelle Daten- und Kommunikationsverbindungen.

Beide Bereiche tragen durch eine **bessere Vernetzung** zur ökonomischen sowie sozialen Integration der Gesellschaft bei. Sie **senken Transaktionskosten**, erleichtern die Integration von Märkten und steigern so das **gesamtwirtschaftliche Wachstum**. Gerade die digitale Infrastruktur wird darüber hinaus immer mehr zu einem Wegbereiter („Enabler“) für **innovative technologische Anwendungen** und neue Geschäftsmodelle.

In Deutschland zeigt sich auf beiden Infrastrukturfeldern ein durchaus **ambivalentes Bild**. So verfügt das Land über ein **großes und engmaschiges Verkehrsnetz**. Zugleich ist dessen Substanz, insbesondere die der Brücken und Schleusen, **teilweise veraltet und sanierungsbedürftig**. Darüber hinaus sind die Verkehrswege in einigen Regionen bereits bei dem heutigen Verkehrsaufkommen **überlastet**. Indikatoren wie die Stauentwicklung auf den Autobahnen und die Verspätungen im Bahnverkehr deuten darauf hin.

Ambivalent stellt sich auch der derzeitige Zustand der digitalen Infrastruktur dar. Während **Rechenzentren** und **Internetknoten** in ausreichender Quantität und Qualität zur Verfügung stehen, hinkt Deutschland im internationalen Vergleich bei der **Glasfaserabdeckung auf der „letzten Meile“** (FTTH/B-Anschlüsse) hinterher. Zudem ist nicht im gesamten Land eine **Mobilfunkversorgung** mit dem bisher modernsten Standard LTE gegeben. Schließlich gibt es Regionen, in denen selbst eine einfache mobile Sprachkommunikation nicht sichergestellt ist.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die Digitalisierung der Sprach- und Datenübertragung und die signifikante Steigerung der Übertragungskapazitäten durch Breitbandtechnologien einen **Konvergenzprozess** eingeleitet haben, der die Grenzen zwischen Mobilfunk-, Festnetztelefonie- und TV-Kabelnetzen verschwimmen lässt.

Die bestehende Infrastruktur trifft auf eine weiter **ansteigende Nachfrage**. So gehen Prognosen davon aus, dass die Personenmobilität bis 2030 im Vergleich zu 2017 um mehr als vier Prozent zunehmen wird. Weit größer ist das Wachstum des Güterverkehrsaufkommens, das sich voraussichtlich um mehr als 24 Prozent erhöht. Nicht zuletzt aus Klimaschutzgründen sollen Transporte in größerem Umfang als bisher über die Schiene anstelle der Straße abgewickelt werden. Angesichts der bereits starken Auslastung des Verkehrsnetzes folgt aus diesen Prognosen, dass die **Kapazität der Verkehrsinfrastruktur deutlich erhöht werden muss**.

Künftig steigen auch die Anforderungen an die breitbandigen Fest- und Mobilfunknetze an. Zwei Bereiche, die diese Entwicklung vorantreiben, sind das autonome Fahren und der Wandel der industriellen Produktion hin zu einer „Smart Production“. Um diese beiden Anwendungen zu ermöglichen, **sollten die Netzkapazitäten möglichst flächendeckend hohe Bandbreiten sowie geringe Latenzzeiten gewährleisten**.

Die Politik steht vor der Herausforderung, die Infrastruktur den künftigen Anforderungen gemäß auszubauen. Dazu stehen ihr verschiedene **Handlungsoptionen** offen, die sich in drei Gruppen unterteilen lassen:

- ☉ **Ein Teil der Optionen ist der Politik bereits bekannt und wird von ihr adäquat umgesetzt.**

- ⊙ **Ein weiterer Teil ist zwar bekannt, wird aber nur zögerlich oder mit ineffizienten Mitteln angegangen.**
- ⊙ **Schließlich gibt es Optionen, die bisher seitens der Politik noch unterschätzt oder ignoriert werden.**

Bereits erkannt hat die Politik, dass langwierige **Planungs- und Genehmigungsverfahren** in Deutschland dazu führen, dass die Infrastruktur nur langsam ausgebaut wird und Investitionsmittel nicht voll ausgeschöpft werden. Lösungen wie die Umsetzung von E-Government-Maßnahmen oder der verstärkte Einsatz digitaler Tools im Planungsbe- reich – beispielsweise „Building Information Modeling“ (BIM) – stehen zwar auf der Agenda, werden allerdings noch zu zögerlich genutzt. Das Planungsbeschleunigungs- gesetz erzeugte ebenfalls keine zufriedenstellende Wirkung. Außerdem werden Möglich- keiten wie die gesetzliche Regelung national bedeutender Infrastrukturprojekte zurzeit nur geprüft, aber noch nicht genutzt.

Darüber hinaus ist es bei vielen Infrastrukturprojekten in der jüngeren Vergangenheit zum **Widerstand einzelner gesellschaftlicher Gruppen** gekommen. Um die gesellschaft- liche Akzeptanz sicherzustellen, bedarf es nicht in allen Fällen eines Plebiszits. Vielfach genügt es bereits, die Anlieger frühzeitig und umfassend über das geplante Projekt zu informieren und Änderungswünsche – soweit dies möglich ist – aufzunehmen. Neben der **Bürgerbeteiligung** kann auch eine **finanzielle Kompensation** für mögliche negative externe Effekte eines Infrastrukturprojekts zu dessen Akzeptanz beitragen.

Als Folge des wachsenden Verkehrsaufkommens in der Zukunft ergibt sich die Notwen- digkeit einer Kapazitätssteigerung des Verkehrsnetzes, die wiederum ausreichende Investitionsmittel voraussetzt. Der Bund hat bereits in den vergangenen Jahren die Investitionsmittel für die Verkehrsinfrastruktur spürbar erhöht. Nun sollte er dafür Sorge tragen, dass das erreichte Niveau dauerhaft erhalten bleibt. Eine Option hierzu, die noch nicht auf der politischen Agenda steht, ist die Anpassung um Preissteigerungen im Baubereich, sodass die „Investitionskraft“ konstant bleibt.

Zur Stabilisierung des Verkehrsinfrastrukturbudgets bietet sich als weitere Option eine Verbreiterung der Finanzierungsbasis an. Hierzu sollte eine stärkere **Nutzerfinanzierung** geprüft werden, z. B. durch die Einführung einer europarechtskonformen allgemeinen Mautpflicht für Autobahnen und Bundesstraßen.

Die erforderliche Kapazitätssteigerung des Verkehrsnetzes kann nur in geringem Maße über einen breitflächigen Ausbau erreicht werden. Viel mehr als eine Beseitigung der Engpassstellen, wie im Bundesverkehrswegeplan ausgewiesen, dürfte nicht umsetzbar sein. Insofern ist sicherzustellen, dass die Engpassstellen, deren Beseitigung den größten

Grenznutzen stiftet, zuerst angegangen werden. Ein Länderproporz bei der Aufstellung der Ausbaupläne steht dem noch entgegen. Positiv ist, dass die Politik den Fokus verstärkt auf die **Erhaltungsinvestitionen** legt. Bei den Sanierungsarbeiten sollte darauf geachtet werden, dass die Brücken oder Schienenwege schon auf Belastungsanforderungen von „übermorgen“ ausgelegt werden. Dies betrifft sowohl das zulässige Gesamtgewicht als auch die maximale Zuglänge, die nicht nur von 600 auf 740 Meter – wie geplant –, sondern auf 1.000 Meter erhöht werden sollte.

Bereits absehbar ist allerdings, dass der Aus- und Neubau der Verkehrsinfrastruktur nicht ausreichen wird, um das weiter ansteigende Mobilitätsaufkommen zu bewältigen. Daher muss die **Leistungsfähigkeit der bestehenden Infrastrukturausstattung** erhöht werden – insbesondere durch eine verstärkte Digitalisierung.

Dazu gehört eine „intelligente“ Verkehrssteuerung, die die digitale Anschlussfähigkeit der unterstützenden Infrastruktur beim Straßennetz (z. B. Signalanlagen) voraussetzt. Im Bereich der Schiene geht die Politik bzw. die Deutsche Bahn mit dem Projekt „Digitale Schiene Deutschland“ einen Schritt in die richtige Richtung. Die Digitalisierung der Stellwerke und die flächendeckende Einführung des European Train Control System (ETCS) sollten jedoch schneller verlaufen, sodass das Ziel deutlich vor 2040 erreicht wird.

Die **Digitalisierung des Verkehrsnetzes** erfordert den begleitenden Ausbau der breitbandigen Fest- und Mobilfunknetze, insbesondere dem Mobilfunkstandard 5G kommt eine Schlüsselrolle zu. Da die digitale Infrastruktur in Deutschland durchweg **privatwirtschaftlich finanziert** wird, besteht die Hauptaufgabe der Politik darin, **bessere Rahmenbedingungen** für die Investitionstätigkeit zu schaffen. Dies reicht von eher symbolischen Zielvorgaben über die Optimierung der Regulierung bis hin zu einer besseren Förderung. Aus volkswirtschaftlicher Sicht sollte das Leitprinzip gelten: „Nicht auf die Nachfrage warten, sondern mit der Infrastruktur vorlegen!“

Es ist wichtig, dass die Bundesregierung eine **flächendeckende Verfügbarkeit** einer **gigabitfähigen Infrastruktur** bis 2025 anstrebt. Mit diesem klaren Signal können zukunftsweisende Maßnahmen ergriffen werden. Dabei ist beispielsweise eine zweigleisige Mobilfunkstrategie zu präferieren: Einerseits sollte LTE flächendeckend zur Verfügung gestellt werden, andererseits sollten 5G-Netze schnellstmöglich dort vorhanden sein, wo sie für das Internet of Things dringend benötigt werden, und mindestens in den 20 größten Städten Deutschlands.

Da die gesamte **Digitalbranche unter einem Fachkräftemangel leidet**, muss die Politik eine umfassende Strategie erarbeiten, um IKT-Fachkräfte anzuwerben, aus- und weiterzubilden.

Beim Breitbandausbau müssen die **staatlichen Investitionen und Förderungen verstetigt** werden. Die Investitionsförderung sollte vorrangig dort ansetzen, wo der Ausbau für private Investoren unwirtschaftlich ist. Dazu muss geprüft werden, ob das aktuelle Fördersystem die richtigen Anreize setzt, damit sich die Unternehmen beim geförderten Ausbau vorrangig um diese „weißen Flecken“ kümmern.

Da auch der Mobilfunk bei der Anbindung der Funkmaste auf Glasfasernetzen basiert, sollten Festnetz- und Mobilfunkförderung vereinheitlicht werden und koordiniert erfolgen. **Konvergente Netze** erfordern eine **konvergente Förderung**.

Eine tiefgreifende Veränderung der bisherigen Ausbauförderung sind **Gutscheine zur Stimulierung der Nachfrage** nach Glasfaseranschlüssen (sogenannte „Voucher“). Dieser Ansatz wird im Rahmen von Pilotprojekten in einzelnen Bundesländern getestet und stellt insofern einen Paradigmenwechsel dar, als nicht mehr die Ausbaukosten, sondern die Zahlungsbereitschaften der Nutzer subventioniert werden. Die Gutscheine können gezielt in Gebieten ausgegeben werden, die noch nicht mit gigabitfähigen Netzen versorgt sind. Somit wird ein geförderter „Überbau“ von FTTH/B- oder HFC-Netzen ausgeschlossen.

Es empfiehlt sich, die Mobilfunkstandards 2G (GSM) und 3G (UMTS) so schnell wie möglich abzuschalten, um Frequenzen für breitbandige LTE-Dienste sowie den Mobilfunkstandard 5G frei zu machen.

An der Zielsetzung der Bundesregierung, Deutschland zum „**5G-Leitmarkt**“ zu entwickeln, sollte mit Nachdruck festgehalten werden, da die Technologie für viele innovative Anwendungen grundlegend sein wird und ein hohes Wachstumspotenzial verspricht. Deshalb muss der Ausbau von 5G-Leuchtturmprojekten schneller in Angriff genommen werden.

Zur **Beseitigung der „weißen Flecken“** sollte die Regulierung stärker als bisher **Investitionskooperationen** zwischen Konkurrenten sowie „**Infrastruktur-Sharing**“ unterstützen, bei dem sich mehrere Betreiber die Infrastrukturkomponenten teilen. Eine gesetzliche **Verpflichtung zum „National Roaming“**, wie sie derzeit diskutiert wird, erscheint demgegenüber aus ökonomischer Sicht **kontraproduktiv**.

Investitionshindernisse aufgrund der zähen Genehmigungsverfahren für neue Funkmaste müssen so weit wie möglich ausgeräumt und das Bauordnungs- sowie das Bauplanungsrecht entsprechend vereinfacht werden. Die Initiative des Bundesverkehrsministeriums zur **Mitnutzung kommunaler Trägerinfrastrukturen und öffentlicher Liegenschaften** beim Ausbau von Mobilfunkstandorten ist ein Schritt in die richtige Richtung.

Daneben gibt es weitere Ansatzpunkte, um die digitale Infrastruktur zukunftsfest zu machen, die allerdings bisher noch nicht im Blickfeld der Politik sind. So sollten die Entscheidungsträger zeitnah prüfen, ob der durch das Telekommunikationsgesetz gesteckte rechtliche Rahmen angesichts der rasanten technologischen Entwicklungen noch angemessen ist oder einer Überarbeitung bzw. Ausweitung bedarf; der digitalen Infrastruktur kommt nämlich im Rahmen der Vernetzung sämtlicher Wirtschafts- und Lebensbereiche eine neue Rolle zu.

Des Weiteren müssen angesichts konvergierender Netze aufgrund der All-IP-Migration einstmals bewährte **Regulierungsprinzipien** neu überdacht werden. Dazu gehört auch der Primat des infrastrukturbasierten Wettbewerbs. Aus ökonomischer Sicht ist das Glasfasernetz in einer bestimmten Region ein natürliches Monopol. Folglich wäre die **Gebietsexklusivität**, gekoppelt an Ausbau- und Open-Access-Auflagen, eine effiziente Möglichkeit zur Schließung „weißer Flecken“.

Ein innovatives Förderkonzept, das zur effizienten Erschließung unterversorgter Regionen beitragen kann, sind „**negative Auktionen**“. Dabei wird der Ausbau einer bestimmten Region an denjenigen Anbieter „versteigert“, welcher den geringsten Subventionsbedarf anmeldet. Im Gegensatz zur bisherigen Bezuschussung der Ausbaukosten beseitigt dies viele Informationsprobleme, welche der Staat gegenüber den privaten Bauträgern hat.

Die Mobilfunkversorgung wird durch Zuteilungsmechanismen beeinträchtigt, welche entweder die Frequenzpreise in die Höhe treiben oder die **Frequenzvergabe** herauszögern. Deshalb sollte das eingesetzte Auktionsverfahren einer permanenten Optimierung unterzogen werden: Das Auktions-Design sollte darauf abzielen, die knappen Frequenzen bestmöglich zu bewirtschaften, und nicht darauf, die höchstmöglichen Staatseinkünfte zu generieren.

Die Entwicklung einer klaren politischen **Strategie für Datacenter-Infrastrukturen** ist seit Langem überfällig. Bislang verfügen nur einzelne Bundesländer über Digitalstrategien, die auch explizit Rechenzentren einbeziehen. Insbesondere Maßnahmen zur Erleichterung von Genehmigungsverfahren sowie zur Senkung der im internationalen Vergleich hohen Energiekosten sind notwendig, um die **digitale Souveränität** des Wirtschaftsstandorts Deutschland zu sichern.

Einleitung

Das zu Ende gehende zweite Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts war hinsichtlich der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung eine ökonomische Erfolgsgeschichte für Deutschland. Die Wirtschaft erholte sich im längsten Aufschwung seit dem Ende der Wirtschaftswunderjahre schnell und nachhaltig von der Wirtschaftskrise 2008/09, und die Beschäftigung erreichte bislang unbekannte Rekordmarken.

Dieser Aufschwung verliert allerdings seit dem Sommer 2018 an Kraft; die Wirtschaft schrumpfte im zweiten Halbjahr 2018 sogar geringfügig. Die Frage, ob Deutschland auf die sich abzeichnenden zukünftigen gesamtwirtschaftlichen Herausforderungen vorbereitet ist, um auch mittel- und langfristig auf einem stabilen Entwicklungspfad zu bleiben, wird daher drängender. Nach unserer Einschätzung ist von Seiten der Politik in den vergangenen Jahren zu wenig dafür getan worden: Notwendige Reformen wurden angesichts außenwirtschaftlicher Erfolge sowie der außerordentlich günstigen Entwicklung auf dem Arbeitsmarkt nicht angegangen.

Vor diesem Hintergrund hat das Handelsblatt Research Institute im Rahmen des Projektes MASTERPLAN 2030 eine Reihe wichtiger Themengebiete herausgegriffen, deren gesamtgesellschaftlicher Bedeutung in den vergangenen Jahren zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Das Ziel des MASTERPLAN 2030 ist es, konstruktive Zukunftsentwürfe für Deutschland zu entwickeln, um Antworten auf die großen ökonomischen, ökologischen und sozialpolitischen Herausforderungen zu finden, mit denen das Land im nächsten Jahrzehnt – und darüber hinaus – konfrontiert ist.

Die Infrastruktur ist eines dieser Themengebiete.

Sie bildet die wesentliche Grundlage für das Funktionieren von Staat, Wirtschaft und Gesellschaft. Um diesem Zweck bestmöglich gerecht zu werden, sollte die Quantität und Qualität der Infrastruktur dem Bedarf angemessen sein.

Im Rahmen dieser Studie erfolgt die Analyse für folgende Teile der Infrastruktur:

- ⊙ **landgebundene Verkehrsinfrastruktur,**
- ⊙ **digitale Infrastruktur.**

Dabei wandelt sich der Bedarf für diese Infrastruktur aktuell bereits in verschiedenen Dimensionen. Diese Entwicklung wird sich in Zukunft noch beschleunigen. So bestand in der Vergangenheit die Infrastrukturbasis des Verkehrs ausschließlich aus Beton, Asphalt, Eisen und Stahl. Die digitale Infrastruktur, wie zum Beispiel Festnetz und Mobilfunk, diente lediglich der Sprachkommunikation sowie der Übermittlung von Informationen. Künftig wachsen diese beiden Infrastrukturbereiche zusammen.

Das Verkehrsaufkommen wird weiter anwachsen und sich modal verschieben. Die Notwendigkeit, die vorhandene Infrastruktur besser auszulasten, um das steigende Verkehrsaufkommen zu bewältigen, sowie neue Formen der Mobilität erfordern eine „digitalisierte“ Verkehrsinfrastruktur. Dies führt zu einer „Konvergenz“ von konventioneller (analoger) Infrastruktur auf der einen Seite und der digitalen Infrastruktur auf der anderen Seite.

Breitbandige Fest- und Mobilfunknetze werden in Zukunft allerdings nicht nur bei der Mobilität eine wichtige Rolle spielen, sondern für weitere wichtige Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft unerlässlich werden. Neue Produkte, Geschäftsmodelle und Formen der Arbeitsorganisation machen Veränderungen bei der Infrastrukturausstattung des Landes notwendig. Autonomes Fahren, telemedizinische Anwendungen, autonome OP-Roboter, individualisierte Smart-Health-Services oder autonome Steuerungen industrieller Anlagen sind bereits als potenzielle Produkte oder Dienste angedacht, aber noch nicht umsetzbar, wobei eine noch unzureichende digitale Infrastruktur ein Grund dafür ist.

Im Rahmen dieser Studie wird im ersten Schritt untersucht, wie sich der Infrastrukturbedarf bis zum Jahr 2030 entwickelt. Zur Ableitung der notwendigen Anpassung der Infrastruktur erfolgt im zweiten Schritt eine Gegenüberstellung des zuvor identifizierten Bedarfs mit dem aktuellen Zustand des Verkehrssystems sowie der digitalen Infrastruktur. Diese Aspekte werden für die einzelnen Infrastrukturbereiche jeweils in eigenen Kapiteln detailliert analysiert.

Ausgehend von dem identifizierten Anpassungsbedarf bei der Infrastruktur werden im dritten Teil der Studie die mit dem notwendigen Infrastrukturausbau verbundenen ökonomischen und politischen Herausforderungen sowie die gesamtwirtschaftlichen Potenziale analysiert. Diese Analysen dienen als Basis für die Erstellung eines Katalogs von Handlungsoptionen, der im letzten Kapitel dargestellt wird.

Funktion und Bedeutung der Infrastruktur für Wirt- schaft und Gesellschaft

02

2.1 INFRASTRUKTUR – WAS IST DAS?

Eine allgemein akzeptierte Definition für den Begriff „Infrastruktur“ gibt es nicht. Wenn in dieser Untersuchung von Infrastruktur gesprochen wird, ist „Infrastruktur“ eine Chiffre für die Summe aller staatlichen und privaten Einrichtungen und Organisationen, die die wirtschaftlichen und organisatorischen Grundlagen eines Gemeinwesens bilden. Infrastruktur steht für die materiellen wie immateriellen Voraussetzungen der vom Staat sowie von den Unternehmen und Haushalten erbrachten gesellschaftlichen Dienstleistungen und hat eine Schlüsselfunktion für die Volkswirtschaft.¹ Die materielle Infrastruktur ist damit ein wichtiger Teil des gesamtwirtschaftlichen Kapitalstocks.

Zu diesem der Daseinsvorsorge verpflichteten Kapitalstock zählen die Verkehrswege, Energie- und Wärmeversorgung, Wasserversorgung, Entsorgung und nicht zuletzt die digitale Infrastruktur. Kindergärten, Schulen und Hochschulen, Theater und Museen, medizinische Einrichtungen, Pflegeeinrichtungen, Justiz sowie öffentliche Verwaltung werden vielfach unter dem Begriff „soziale Infrastruktur“ subsumiert.

Infrastruktur dient als universeller Inputfaktor und ist selten an einen einzelnen Verwendungszweck gebunden, sondern stellt vielmehr eine Vorleistung für verschiedene wirtschaftliche und soziale Aktivitäten dar. Große Infrastrukturinvestitionen werden

1 Vgl. Martini / Lee (1996), Treadgold (1996).

daher typischerweise von der Öffentlichen Hand oder von staatlich regulierten (Lokal-)Monopolen durchgeführt oder zumindest geplant, während kleinere Projekte auch von Privatunternehmen oder durch kollektives Handeln auf regionaler Ebene realisiert werden.

Der Fokus dieser Studie liegt auf der landgebundenen Verkehrsinfrastruktur, und zwar konkret auf

- ⊙ **Straße**
- ⊙ **Schiene und**
- ⊙ **Binnenwasserstraßen**

sowie der digitalen Infrastruktur, und zwar konkret auf

- ⊙ **breitbandigen Fest- und Mobilfunknetzen und**
- ⊙ **Rechenzentren und Internetknoten.**

Trotz der offenkundigen Unterschiede zwischen diesen beiden großen Infrastruktursegmenten weisen sie ein verbindendes Element auf. Die Gemeinsamkeit besteht darin, zu einer besseren ökonomischen wie sozialen Integration der Gesellschaft beizutragen. Verkehrsinfrastruktur und digitale Infrastruktur stellen „Konnektivität“ her, entweder physisch im Sinne von Transportverbindungen oder virtuell im Sinne von Daten- und Kommunikationsverbindungen.

2.2 ÖKONOMISCHE BESONDERHEITEN DER INFRASTRUKTUR

Eine Reihe von Besonderheiten erschweren die Bereitstellung von Infrastrukturleistungen über Märkte und machen daher Staatseingriffe notwendig. Dabei treten öffentliche Institutionen entweder als Eigentümer, Investor oder Regulierer auf den Plan.

2.1.1 VERSUNKENE FIXKOSTEN ALS RISIKOFAKTOR UND MARKTZUTRITTSSCHRANKE

Infrastrukturinvestitionen gehen mit hohen Fixkosten einher, deren Umfang unabhängig von der tatsächlichen späteren Nutzungsintensität ist. Diese Aufwendungen sind zudem

zum Großteil der Kategorie „versunkene Kosten“ („Sunk Costs“) zuzurechnen. So müssen die Erstellungsaufwendungen, wenn das Projekt aufgegeben wird, in der Regel vollständig abgeschrieben werden. In der Institutionenökonomik wird dieses Phänomen als „Faktorspezifität“ bezeichnet.² Zudem entstehen Unteilbarkeiten dadurch, dass die Kapazitätsanpassungen sehr oft nur in großen Sprüngen möglich sind. Ein Beispiel ist die Erweiterung einer Straße um eine zusätzliche Spur, wenn ein bestimmtes Verkehrsaufkommen nachhaltig überschritten wird. Die Wechselwirkung dieser Faktoren erhöht das Investitionsrisiko sowie die Marktzutrittsschranken für neue Anbieter. Im Infrastrukturwettbewerb haben daher etablierte Unternehmen dadurch eine gewisse Marktmacht und können potenzielle Konkurrenten abwehren.

2.2.2 NATÜRLICHE MONOPOLE

Größenvorteile aufgrund von „subadditiven“ Kostenverläufen führen zu „natürlichen Monopolen“.³ Subadditive Kostenverläufe bedeuten, dass ein einzelner Anbieter den gesamten (regionalen) Markt zu geringeren Kosten versorgen kann, als dies bei einer Aufteilung auf mehrere Anbieter der Fall wäre. Beispielsweise ist es beim Glasfaserausbau günstiger, wenn ein leistungsfähiges Unternehmen in einer bestimmten Straße sämtliche Anwohner an eine Leitung anschließt. Würden weitere Anbieter Glasfaserverleitungen verlegen und die Anschlüsse zwischen ihnen aufgeteilt werden, entspräche dies einer „Kostenvervielfachung“: Die Baukosten werden gesteigert, ohne dass sich die Leistung verbessert.



² Vgl. Williamson (1990).

³ Vgl. Baumol (1977).

In der Wettbewerbsökonomik ist es jedoch gut belegt, dass natürliche Monopole nicht unbedingt resistent gegenüber Zutritten in einzelne Teile ihres Marktes sind.⁴ Der grundsätzliche Kostenvorteil eines Alleinanbieters gewährleistet noch nicht, dass Wettbewerber nicht versuchen, in bestimmte, besonders attraktive Marktsegmente einzusteigen. Dafür hat sich in der Literatur der Begriff „Rosinenpicken“ („Cherry Picking“) etabliert. Während potenzielle Konkurrenz einerseits als Disziplinierungsinstrument gegen überhöhte Preise oder Trägheit des etablierten Anbieters wirkt, kann freier Marktzutritt andererseits zu „übermäßigem“ Wettbewerb führen und höhere gesamtwirtschaftliche Gesamtkosten in der betreffenden Industrie verursachen, mit der Folge von höheren Verbraucherpreisen sowie Wohlfahrtsverlusten.

Die staatliche Regulierung von natürlichen Monopolen steht somit vor einem grundlegenden Konflikt: Setzt sie auf Infrastrukturwettbewerb und lässt Marktzutritte zu, kann dies zwar die innerbetriebliche Effizienz des eingesessenen Unternehmens erhöhen sowie zu Innovationen anregen. Damit ist allerdings das Risiko einer Verringerung der gesamtwirtschaftlichen Effizienz durch reine Kostenduplizierung verbunden, wenn ein Unternehmen den Markt betritt, obwohl es nicht über eine überlegene Technologie verfügt.

Die Regulierungspraxis hat sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert, da Infrastrukturmärkte zum einen in Regionalmonopole aufgeteilt wurden und zum anderen im Zuge der Deregulierung eine Abtrennung des weiterhin monopolistischen Infrastrukturbetriebs von der potenziell wettbewerblichen Dienstleistungserstellung stattgefunden hat. So ist es zwar effizient, beispielsweise den Ausbau und Betrieb des Schienennetzes einem einzelnen Unternehmen zu überlassen, jedoch sollte die mit der Infrastruktur erbrachten Dienstleistung, d. h. der Personen- und Gütertransport, im Wettbewerb erfolgen.

2.2.3 KOLLEKTIVGÜTER

Für viele Infrastruktureinrichtungen besteht keine „Nutzungs rivalität“. Dies bedeutet: Die individuelle Nutzung wird nicht dadurch beeinträchtigt, dass andere Individuen gleichzeitig dieselbe Infrastruktur nutzen. Beispielsweise gilt dies – solange die Kapazitätsgrenze nicht erreicht ist – im Falle von Verkehrswegen. Gleichermaßen weisen Mobilfunkzellen und traditionelle kupferbasierte Festnetze derartige Kapazitätsgrenzen auf, bis zu deren Erreichen zusätzliche Nutzer keinerlei Leistungseinbußen verursachen. Aus ökonomischer Sicht sollte niemand von der Mitnutzung unausgelasteter Infrastrukturkomponenten durch eine preisliche Diskriminierung ausgeschlossen werden. Der Verzicht auf Nutzungspreise nach Maßgabe der Nutzungsintensität birgt jedoch eigene Probleme, da die Nutzerpräferenzen somit ihren Einfluss auf die Qualität und Kapazität der Infrastruktur verlieren und der Staat zwangsläufig als finanzieller Träger einspringen muss.

4 Vgl. Faulhaber (1975), Baumol et al. (1977), Sharkey (1981).

2.2.4 NETZWERKEFFEKTE

Verkehrswege und digitale Infrastruktur stellen Netzwerke dar. Diese Tatsache allein bedeutet jedoch noch nicht, dass sämtliche beteiligte Industrien zugleich auch durch die Existenz signifikanter „Netzwerkeffekte“ gekennzeichnet sind. Positive Netzwerkeffekte liegen vor, wenn die individuellen Vorteile eines Nutzers mit der Größe des Netzwerks wachsen, das er nutzen kann.⁵ Der mit einem Produkt oder Service verbundene Nutzen eines individuellen Nutzers steigt folglich mit der Anzahl der Nutzer, welche das gleiche Produkt oder den gleichen Service ebenfalls verwenden. Hierbei lässt sich zwischen direkten und indirekten Netzwerkeffekten unterscheiden. Indirekte Netzwerkeffekte entstehen bei Gütern, die auf kompatible Anwendungen angewiesen sind: Je mehr Konsumenten einen bestimmten Standard nutzen, umso mehr Anwendungen werden für diesen Standard entwickelt. Je mehr Anwendungen für einen bestimmten Standard verfügbar sind, umso mehr Individuen interessieren sich für den Standard und umso höher ist die Zahlungsbereitschaft der existierenden Nutzer.

Liegen solche Netzwerkeffekte vor, hängen die Vorteile einer bestimmten Infrastrukturinvestition von den anderen Bestandteilen des Gesamtnetzes ab.

Mit Blick auf die Verkehrswege gilt, dass der Vorteil des Ausbaus einer bestimmten Strecke nicht nur durch deren Länge und Kapazität bestimmt wird, sondern auch durch die Erreichbarkeit anderer Punkte innerhalb des Streckennetzes (direkter Netzwerkeffekt). Mit der Verbesserung der Straßenkapazität und -qualität steigt auch das Angebot an passenden Fahrzeugen (indirekter Netzwerkeffekt).

Auch die individuellen Vorteile hochbitratiger Breitbandanschlüsse steigen mit der Anzahl von Nutzern, die ebenfalls solche NGA-Netze („Next Generation Access“) nutzen – entweder das gleiche oder ein kompatibles. Hierbei gibt es ebenfalls sowohl direkte Netzwerkeffekte, da der Datentransfer erleichtert wird, als auch indirekte Netzwerkeffekte, da die Anzahl kompatibler Anwendungen steigt, deren Nutzung auf hohe Bitraten angewiesen ist. Beispiele sind Anwendungen im Bereich Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR), Fahrerassistenz- und Verkehrsleitsysteme oder Telemedizin.

Bei Netzwerkgütern entstehen oftmals First-Mover-Vorteile: Es geht darum, früh einen Standard zu etablieren. So ist aktuell beispielsweise noch unklar, ob sich bei der Entwicklung zum Autonomen Fahren der Mobilfunkstandard 5G oder WLAN durchsetzen wird (siehe Kapitel 4.2), da in der Automobilindustrie, der Telekommunikationsbranche sowie auf den verschiedenen Ebenen der Politik unterschiedliche Präferenzen vorherrschen.

Diese besondere Gemengelage führt dazu, dass es bei Netzwerkgütern zu sogenannten „Lock-in-Effekten“ kommen kann. Dies bedeutet, dass sich eine einmal getroffene

5 Vgl. Farrell / Klemperer (2007).



Entscheidung faktisch nicht mehr rückgängig machen lässt. Die Wahl des „richtigen“ Standards erweist sich damit für die Marktakteure als ein Koordinationsproblem, das sich zumeist besser durch Kommunikation, beispielsweise im Rahmen von Gremien, als durch „Trial and Error“ auf dem freien Markt lösen lässt.⁶

Denn dabei kann es durchaus zu Marktversagen kommen. Die Gründe:

- ⊙ **Der Markt orientiert sich verfrüht an einem im Nachhinein unterlegenen System, aus dem man aber aufgrund des Lock-in-Effekts nur noch unter sehr hohen Aufwendungen aussteigen kann.**
- ⊙ **Es kommt zu einer „Zersplitterung“ des Marktes, bei der verschiedene inkompatible Standards parallel weitergeführt werden und somit Netzwerkvorteile verlorengehen.**
- ⊙ **Die einzelnen Marktakteure zögern die Investition in einen der konkurrierenden Standards heraus, um abzuwarten, wie sich die anderen verhalten. Der betreffende Markt etabliert sich in diesem Fall – wenn überhaupt – erst spät, sprich mit Effizienzverlusten.**

⁶ Vgl. Farrell / Klemperer (2007).

2.2.5 INTERDEPENDENZEN ZWISCHEN ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN UND INFRASTRUKTURELLEN VORAUSSETZUNGEN

Der enge Verbund zwischen der bestehenden Infrastruktur und deren gewünschten Nutzungen kann zu Koordinationsproblemen führen. In der Regel erfolgen die Infrastrukturinvestitionen und die Entwicklung sowie Vermarktung von kompatiblen Anwendungen durch unterschiedliche Unternehmen. Somit besteht eine „Henne-Ei-Problematik“: Leistungsfähige Infrastrukturen und komplexe Anwendungen stehen in einem komplementären Verhältnis, sodass die Verfügbarkeit der einen die Nachfrage nach den anderen erhöht – und umgekehrt.

In Bezug auf die Verkehrsinfrastruktur zeigt das folgende Gedankenexperiment, dass ohne Straßen Fahrzeuge allenfalls von geringem Nutzen sind und bei fehlenden Fahrzeugen auch die besten Straßen einen allenfalls geringen Nutzen stiften. Gleichermaßen gilt für die digitale Infrastruktur: Nur wenn Anwendungen auf dem Markt existieren, die datenintensiv und auf niedrige Latenz angewiesen sind (beispielsweise VR oder 360-Grad-Videos), entsteht eine Nachfrage nach hochbitratigen Breitband-Anschlüssen. Gleichermaßen wären ohne die Verfügbarkeit von leistungsfähigen NGA-Netzen derartige Anwendungen mutmaßlich nicht entwickelt worden.

Folglich muss eine der beiden Marktseiten in Vorleistung treten, damit die andere nachzieht. In der Regel dürfte es in dieser Situation einfacher sein, wenn die Infrastrukturanbieter den ersten Schritt machen. Begründung dafür ist, dass die Infrastruktur aufgrund ihrer beschriebenen ökonomischen Eigenschaften in der Regel „aus einer Hand“ kommt, während die potenziellen Anwendungen vielfältig sind und von verschiedenen Branchen entwickelt werden.

2.3 VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DER INFRASTRUKTUR

Verkehrs- und Kommunikationsinfrastrukturen senken Transaktionskosten und erleichtern somit die Integration unterschiedlicher regionaler und nationaler Märkte. Diese stärkere Vernetzung steigert das gesamtwirtschaftliche Wachstum. Eine Markterweiterung ermöglicht einen höheren Grad der Spezialisierung⁷ und somit gesamtwirtschaftliche Produktivitätsgewinne.

⁷ Bereits Adam Smith überschrieb ein Kapitel seines Klassikers „Wealth of Nations“ (1776) mit „That the Division of Labour is Limited by the Extent of the Market“. Ein aktueller Überblick über die Vorteile der Integration von Märkten findet sich bei Donaldson (2015).

Entsprechend waren Verkehrswege – über lange Zeit vor allem Wasserstraßen und ab Mitte des 19. Jahrhunderts auch Eisenbahntrassen – entscheidend für die Entwicklung und den wirtschaftlichen Aufstieg von Städten, Regionen und Ländern.⁸

Die physischen Transportmöglichkeiten sind aber nicht der einzige Faktor, der den Handel über große Entfernungen erleichtert hat. Die letzte große Welle der Globalisierung, die ab Mitte der 1980er Jahre an Fahrt aufnahm, wurde wesentlich durch Innovationen der Informations- und Kommunikationstechnologie vorangetrieben.⁹

In der Entwicklungsökonomik besteht ein weitgehender Konsens, dass Infrastrukturinvestitionen notwendig für die Industrialisierung eines Landes sind, da sie einen wichtigen Standortfaktor für die Ansiedlung von Unternehmen darstellen. Für Unternehmen ermöglicht die Verfügbarkeit einer leistungsfähigen Verkehrsinfrastruktur und digitalen Infrastruktur nicht nur eine Verringerung der Transport- und Informationskosten (direkter Effekt), sondern auch eine Verringerung der Lagerbestände (indirekter Effekt).¹⁰

Neue Infrastrukturen sind oftmals Wegbereiter („Enabler“) für innovative Anwendungen und neue Geschäftsmodelle. Somit haben Infrastrukturinvestitionen Multiplikatoreffekte, die sich kaum prognostizieren lassen, da sie über die Optimierung der bisherigen Anwendungen und Nutzungsmöglichkeiten weit hinausgehen. Potenziale, die sich aktuell bereits abzeichnen, sind etwa die „digitale Schiene“, die eine effizientere Auslastung des bestehenden Schienennetzes ermöglicht, und „smarte“ Straßen, die zu einer besseren Lenkung der Individualverkehrsströme führen können.

Diese Beispiele illustrieren, dass Breitbandnetze und Rechenzentren inzwischen Vorleistungen für das Verkehrssystem bereitstellen, mithin eine Art Infrastruktur für andere Infrastrukturen bilden. Somit erscheint es plausibel, dass die „ökonomische Hebelwirkung“ der Investition in die digitale Infrastruktur größer ist als bei analoger Infrastruktur.

Infrastrukturinvestitionen haben aber nicht nur positive Wachstumseffekte, indem sie die Produktivität von Unternehmen erhöhen, die Transaktionskosten senken und Innovationen ermöglichen. Der Zugang zu Infrastrukturdienstleistungen hat zudem wichtige Verteilungseffekte, da er sich überproportional auf die Einkommen und die Wohlfahrtsposition ärmerer Bevölkerungsschichten und unterentwickelter Regionen auswirkt.¹¹ Der Anschluss an Verkehrs- und Kommunikationsinfrastruktur erleichtert den Zugang zu Produktions- und Beschäftigungsmöglichkeiten, erhöht den Wert bestehender Vermögensgegenstände (z. B. Wohnungen, Grundstücke, Produktionsanlagen) und verbessert sowohl die allgemeine Information als auch die Bildungschancen.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass Infrastrukturdienste entscheidend für die Funktionsweise und die Effizienz von Volkswirtschaften sind. Oftmals erweisen sie sich

8 Vgl. Wolf (2014).

9 Vgl. Wolf (2014).

10 Vgl. Henckel / McKibbin (2017).

11 Vgl. Henckel / McKibbin (2017).

als kritische Inputfaktoren bei der Produktion von Gütern und Dienstleistungen. Als solche haben sie einen signifikanten Einfluss auf die Produktivität und/oder die Kosten von Unternehmen sowie die Wettbewerbsfähigkeit eines Standorts und können zudem eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung sozialer Ungleichheit übernehmen.

Diese theoretischen Ergebnisse werden durch empirische Befunde gestützt.¹² Dabei hat sich jedoch die Messung der Leistungsfähigkeit der Infrastruktur als problematisch erwiesen, da die reinen Investitionsausgaben keine Rückschlüsse auf die Qualität der aufgebauten Projekte zulassen. Um diesem Mangel zu begegnen, beruht eine innovative empirische Studie auf einer multidimensionalen Messung des physischen Infrastrukturkapitals.¹³ Mit dieser Methode ermitteln die Autoren eine Output-Elastizität von Infrastrukturinvestitionen in Höhe von 0,07 bis 0,1. Dies bedeutet, dass eine zehnprozentige Steigerung der Infrastrukturausstattung¹⁴ das Volkseinkommen um 0,7 bis ein Prozent erhöht.¹⁵ Deshalb haben politische Entscheidungen über die Finanzierung, Förderung und Regulierung von Infrastrukturleistungen weitreichende Folgewirkungen für die gesamte Wirtschaft und Gesellschaft.



12 Vgl. Gramlich (1994) für einen historischen Überblick.

13 Vgl. Calderón et al. (2015).

14 Die Infrastrukturausstattung wird anhand von Quantitäts- sowie Qualitätskriterien gemessen, die in Calderón et al. (2015) skizziert werden.

15 Hierbei ist neben Verkehr und Telekommunikation auch der Energiesektor eingeschlossen.



2.4 ANFORDERUNGEN AN DIE INFRASTRUKTUR IM WANDEL DER ZEIT

Aus Unternehmenssicht standen lange Zeit die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems (Straße, Schiene, Luft- und Wasserwege), die Korruptionsfreiheit des Rechtsstaats sowie die sichere und kostengünstige Energieversorgung im Fokus des Interesses. Jedoch unterliegt die wirtschaftliche Bedeutung einzelner Infrastrukturkomponenten einem ständigen Wandel – nicht zuletzt im Zuge technologischer Umbrüche. Die Digitalisierung stellt derzeit ohne Zweifel einen derartigen technologischen Umbruch dar, denn sie hat zur Folge, dass die Leistungsfähigkeit der Infrastruktur eines Landes in immer größerem Ausmaß von den Übertragungsraten, der Zuverlässigkeit sowie der Sicherheit der Daten-netze abhängt. Standorte werden zunehmend nach Maßgabe neuer informationstechnologischer Kriterien beurteilt. Daneben führen auch Veränderungen der gesellschaftlichen Bedürfnisse – beispielsweise in Bezug auf Arbeit, Mobilität, Gesundheit, Wohnen oder Umweltschutz – zu veränderten Anforderungen an die Infrastruktur der Zukunft.

Es bestehen starke Interdependenzen zwischen der Infrastruktur und den Anwendungen, die sie ermöglicht. Die vorhandene Infrastruktur prägt ebenso den Verlauf der wirtschaftlichen Aktivität („patterns of trade“), wie das Handelsmuster seinerseits das Niveau und die Art der erforderlichen Infrastruktur bestimmt.¹⁶

Entwickelt sich die Wirtschaft weiter, muss sich auch ihre Infrastruktur anpassen, um den Veränderungen in den Produktionsstrukturen sowie den Bewegungen von Waren und Arbeitskräften Rechnung zu tragen. Der Markt stellt somit ständig wechselnde Anforderungen an die vorhandene Infrastruktur, die für staatliche Behörden möglicherweise schwierig zu antizipieren und zu beantworten sind. Faktoren, welche die Infrastruktur der Zukunft prägen werden, sind neben der Digitalisierung beispielsweise auch die Alterung der Gesellschaft sowie der Klimawandel.

Die bestehende Infrastruktur wird zunehmend mit Konnektivität und Sensorik ausgestattet. Somit besteht ein Konvergenzprozess zwischen physischer Verkehrsinfrastruktur und digitaler Infrastruktur. Dieser Zusammenhang zeigt sich beispielsweise darin, dass Digitalisierung den Bau zusätzlicher physischer Transportkapazität ersetzen kann, da die Verkehrsflüsse auf der bestehenden Kapazität effizienter geleitet werden. Ein höherer Grad der Digitalisierung verringert mithin das Risiko von Engpässen. Dabei ist in vielen Bereichen eine Einigung auf gemeinsame Technologiestandards notwendig, um Interoperabilität zu gewährleisten.

16 Vgl. Henckel / McKibbin (2017).

2.5 FORMEN DER INFRASTRUKTURBEREITSTELLUNG

Ein typisches Infrastrukturprojekt erfordert hohe, irreversible Anfangsinvestitionen. Über die Betriebsdauer des Projekts fallen zudem Betriebs- und Instandhaltungskosten an, welche jedoch gegenüber den Investitionskosten nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten ausmachen. Der eigentliche Infrastrukturaufbau und -ausbau wird an spezialisierte Unternehmen der Bauwirtschaft delegiert. Im Zeitablauf erfolgt die Refinanzierung der Investitions- und Betriebskosten durch Nutzungspreise, Steuern oder eine Kombination aus Markterlösen und öffentlichen Mitteln.

Traditionell wurden Infrastrukturdienstleistungen von Staatsunternehmen erbracht. Jedoch hat sich die öffentliche Bereitstellung oftmals als kostenintensiv oder wenig bedarfsgerecht erwiesen. Angesichts hoher Investitionsbedarfe zur Verbesserung der Infrastrukturqualität und begrenzter öffentlicher Haushalte haben sich viele Länder deshalb für einen – zumindest partiellen – Transfer der Bereitstellung von öffentlicher Infrastruktur an den Privatsektor entschieden.¹⁷

Hiermit wird die Hoffnung verbunden, dass private Infrastrukturbetreiber zu geringeren Kosten produzieren, günstigere Preise bieten oder effizientere Investitionsentscheidungen treffen. Jedoch ist es bei privater Bereitstellung von Infrastrukturleistungen für die Regierung schwierig, bestimmte nicht-kommerzielle Infrastrukturziele wie beispielsweise eine Umverteilung oder die Gleichversorgung von Stadt und Land zu realisieren.

Dieser Privatisierungsprozess wird oftmals von staatlicher Regulierung begleitet, und zwar einerseits, um die Investoren vor nachträglichen, diskretionären Staatseingriffen zu schützen, andererseits, um Ausbeutungs- und Behinderungsmissbrauch zu verhindern. Die (regionale) Dominanz des Infrastrukturbetreibers ermöglicht eine Ausnutzung von Marktmacht gegenüber Kunden oder Lieferanten sowie eine Behinderung des Wettbewerbs durch Marktabstottungs- und Verdrängungspraktiken.

Regulierte Privatunternehmen haben durchweg einen Informationsvorteil gegenüber den Regulierungsbehörden, den sie beispielsweise bei der Investitionsförderung zu ihren Gunsten ausnutzen können. Aufgrund dieser Informationsasymmetrie zwischen der Aufsichtsbehörde und dem regulierten Unternehmen ist eine Höchstpreis-Regulierung („Price-Cap Regulation“) gegenüber der früher üblichen Rentabilitätsregulierung („Rate-of-Return Regulation“) mit Effizienzvorteilen verbunden. Die Festsetzung von Preisobergrenzen ist nicht nur weniger informationsintensiv als die Garantie eines prozentualen Aufschlags über die Betriebskosten, sondern sie bietet dem Unternehmen auch starke Anreize zur Kostenreduktion, erhöht jedoch zugleich auch das Marktrisiko.

17 Vgl. Grimsey / Lewis (2002).

Im Spannungsfeld zwischen der traditionellen staatlichen Bereitstellung und der vollständigen Privatisierung von Infrastrukturleistungen haben sich zahlreiche Mischformen von Markt und Staat entwickelt – sogenannte „öffentlich-private Partnerschaften“ (ÖPP). Dabei handelt es sich um Konzessionsmodelle, die sich im Wesentlichen hinsichtlich folgender Merkmale unterscheiden:¹⁸

- ⊙ **Wer ist Eigentümer des aufgebauten Infrastrukturkapitals?**
- ⊙ **Wer trägt die Verantwortung für die Investitionstätigkeit?**
- ⊙ **Wer übernimmt das Marktrisiko?**
- ⊙ **Wie lange ist die Vertragsdauer?**

Folglich lassen sich drei alternative Organisationsformen zur Bereitstellung von Infrastruktur unterscheiden: Öffentliche Bereitstellung, öffentlich-private Partnerschaften und vollständige Privatisierung – mit mehr oder weniger strikten Regulierungsaufgaben und gegebenenfalls mit staatlicher Förderung.

Konzessionen im Rahmen von öffentlich-privaten Partnerschaften werden für einen begrenzten Zeitraum vergeben, in welchem das private Unternehmen ein Exklusivrecht auf Nutzung der bestehenden Infrastrukturkomponenten hat und neue Services entwickeln sowie anbieten kann.¹⁹ Danach kann die Konzession erneuert oder anderweitig vergeben werden. Der Konzessionsvertrag legt die Konditionen und Preise fest, zu denen der Lizenznehmer Dienstleistungen zu erbringen hat und die Infrastrukturausstattung nutzen darf, die jedoch weiterhin in öffentlicher Hand verbleibt. Die zu erbringenden Investitionsleistungen werden im Lizenzvertrag spezifiziert und stehen unter der Aufsicht einer Regulierungsbehörde. Nach Ablauf der Lizenzfrist gehen neu aufgebaute Infrastrukturkomponenten an den Staat über, wobei gegebenenfalls eine vertraglich vereinbarte Entschädigung für Investitionen fällig wird, die noch nicht amortisiert sind. Auch die Konditionen, zu denen der Lizenznehmer entlohnt wird, sind in der Regel im Vorhinein vertraglich fixiert.

¹⁸ Vgl. Guasch (2004).

¹⁹ Vgl. Kerf et al. (1998).

Status quo der Infra- struktur in Deutschland

03

Nach der Auseinandersetzung mit der Bedeutung der Infrastruktur für Wirtschaft und Gesellschaft sowie mit deren ökonomischen Besonderheiten wird im Folgenden die aktuelle Ausgestaltung der Verkehrsinfrastruktur und digitalen Infrastruktur in Deutschland untersucht. Eine solche Betrachtung ist wichtig, da die Infrastruktur der Zukunft, die für künftige Anforderungen gerüstet ist, nicht auf „der grünen Wiese“ neu geschaffen wird. Vielmehr muss das bestehende System weiterentwickelt werden. Die Ausmaße und Form der Weiterentwicklung ergeben sich aus deren Gegenüberstellung des Status quo und des künftigen Bedarfes (siehe Kapitel 4).

3.1 STRASSEN

Deutschland verfügt über ein umfangreiches und – im internationalen Vergleich – engmaschiges Straßennetz.²⁰ Dieses Netz umfasst rund 13.000 Autobahnkilometer, 38.000 Kilometer Bundesstraße sowie 179.000 Kilometer Kreis- und Landstraßen.²¹

Deutschlands dichte Verkehrsinfrastruktur ist ein wesentlicher Faktor dafür, dass das Land seit dem Jahr 2014 ständig den Logistic Performance Index (LPI)²² anführt, mit dem die Weltbank seit 2007 unter anderem die “Logistikfreundlichkeit” der Infrastruktur weltweit misst. Der LPI basiert auf repräsentativen Umfragen unter Logistikunternehmen, die neben der Infrastruktur auch noch Pünktlichkeit, Transparenz und Effizienz der Zoll- und anderen Behörden sowie Logistikleistungen beurteilen.

Das Verkehrsnetz in Deutschland ist nahezu vollständig in staatlichem Besitz. Mit Beginn des Jahres 2021 übernimmt außerdem die neue Autobahn GmbH des Bundes die Verantwortung von den Bundesländern für Bau, Betrieb, Verwaltung und Finanzierung der Autobahnen. Das privatwirtschaftlich strukturierte Staatsunternehmen soll auch öffentlich-private Partnerschaftsprojekte (ÖPP) fördern. Beispielsweise sind künftig ÖPP-Projekte bis zu einer Länge von 100 Autobahnkilometern generell zugelassen.

Beim ersten größeren deutschen Autobahn-ÖPP, dem 73 Kilometer langen Autobahnteilstück der A1 zwischen Bremen und Hamburg, wurden zwei wesentliche Erfahrungen gemacht.²³ Erstens war das private Konsortium in Sachen Bauzeit deutlich schneller als öffentliche Betreiber. Zweitens ging die Verkehrs-Kalkulation der privaten Betreiber nicht auf und es kam zu Finanzierungsproblemen. Ungeachtet dessen plant die Bundesregierung künftig weitere ÖPP-Projekte (siehe Abbildung 1).

Das Straßennetz bildet die Basis für den Personen- und Güterverkehr in Deutschland, wobei der Güterverkehr seit Jahrzehnten mehr als doppelt so schnell wächst wie der Personenverkehr. Die Fahrleistung aller Kraftfahrzeuge auf deutschen Straßen stieg von 1991 bis 2017 um 32 Prozent auf 756 Milliarden Kilometer im Jahr.²⁴ Dabei erhöhte sich die zurückgelegte Strecke des Güterverkehrs auf der Straße in dem Zeitraum um 76 Prozent, des Personenverkehrs um 29 Prozent. Infolgedessen stieg der Anteil der LKWs am gesamten Straßenverkehrsaufkommen von 9 Prozent auf 12 Prozent.

Auch in jüngster Zeit hält das Wachstum an: Allein im Zeitraum 2017/18 nahm die Gütertransportleistung auf deutschen Straßen um 3,2 Prozent auf rund 520 Millionen Tonnen zu.²⁵

20 Vgl. Bardt et al. (2014).

21 Vgl. Destatis (2019a).

22 <https://lpi.worldbank.org/international/global>

23 Vgl. Breitingner (2018).

24 Vgl. BMVI (2018a).

25 Vgl. Intraplan Consult (2019).

Abbildung 1

Öffentlich-private-Partnerschaften (ÖPP) – Bundesfernstraßen: Pilotprojekte und weitere Vorhaben



Mit diesen Wachstumsraten des Verkehrsaufkommens stößt allerdings das deutsche Straßennetz bereits heute an seine Kapazitätsgrenzen und ist in Teilen bereits überlastet. Es gibt vermehrt Meldungen über Kapazitätsengpässe.²⁶ Diese werden durch die Staudichte verdeutlicht. Im Jahr 2018 gab es täglich durchschnittlich 2.000 Staus auf Fernstraßen, die sich übers Jahr auf eine Gesamtlänge von rund 1,5 Millionen Staukilometern erstrecken.²⁷ Gegenüber dem Vorjahr stellt dies einen Anstieg um mehr als drei Prozent dar. Der staubedingte Zeitverlust in Deutschland im Jahr 2017 belief sich auf einen monetär entsprechenden Wert von ungefähr 80 Milliarden Euro.²⁸

Des Weiteren sind viele Straßen und vor allem Brücken an Autobahnen, Bundes- und Gemeindestraßen dem starken Verkehrsaufkommen substanziell nicht mehr gewachsen, sodass in der Folge der Verschleiß zunimmt. Hinzu kommt, dass viele Komponenten der Straßeninfrastruktur, insbesondere die Brücken, teilweise noch aus den 1950er bis 1970er Jahren stammen und damit sehr veraltet sind.²⁹



Gerhard Hillebrand (ADAC)

Zustand der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland

In vielen Teilen befindet sich die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland in einem schlechten Zustand. Dies betrifft insbesondere die Kommunal- und Landesstraßen. Dazu kommen an vielen Stellen Kapazitätsengpässe, auf die die Staubilanzen hindeuten. Deutschland hängt außerdem beim Ausbau der transnationalen Infrastrukturprojekte insbesondere im Bereich der Schiene hinterher, die Teil grenzüberschreitender Verkehrswege (z. B. die Verbindung Rotterdam – Genua, Fehmarnbelt, Strecken zum Brennerbasistunnel und zum Gotthardtunnel) sind. Die Nachbarstaaten haben ihre Teile vielfach schon fertiggestellt oder sind im Bau weit fortgeschritten.

Eine wesentliche Ursache für den teilweise schlechten Allgemeinzustand der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland ist der Rückstau bei Erhalt und Modernisierung.

Herausforderung für die Zukunft

Vor diesem Hintergrund – schlechter Zustand und viele Kapazitätsengpässe – ergibt sich für Deutschland eine große Herausforderung, da das Verkehrsaufkommen

26 Vgl. Puls (2018).

27 Vgl. ADAC (2019).

28 Vgl. Puls (2018).

29 Vgl. Bardt et al. (2014).

künftig noch weiter steigen wird. So folgt aus dem demografischen Wandel beispielsweise, dass Senioren länger Auto fahren und damit auch ein Fahrzeug länger halten. Insgesamt werden der PKW-Bestand sowie der gesamte Personen- und Güterverkehr weiter zunehmen. Hier kommt es zum Beispiel mit Blick auf den Personenverkehr darauf an, die Leute dafür zu begeistern, das eigene Fahrzeug auch mal stehen zu lassen und zumindest Teile der Strecke mit dem öffentlichen Personennahverkehr oder Wege mit dem Fahrrad zurückzulegen.

Es müssen lokal, regional und national richtige Bündel an Maßnahmen gefunden werden, um eine ausreichende Kapazität der jeweiligen Verkehrsinfrastruktur im Wandel des Mobilitätsmixes sicherzustellen. Dabei ist für uns klar, dass das Auto weiterhin ein wesentlicher Teil des Transportsystems bleiben wird.

Zu diesen Maßnahmen gehört erstens Planungssicherheit. So ist es einerseits zu begrüßen, dass der Verkehrsetat des Bundes in den letzten 5 Jahren ordentlich gestiegen ist und allein für die Verkehrsinfrastruktur ungefähr 15 Milliarden Euro zu Verfügung stehen. Damit sind ausreichend Investitionsmittel vorhanden. Andererseits sind Infrastrukturprojekte in Deutschland immer auch langfristige Projekte. Diese haben einen langen Vorlauf und dauern schon mal 15 Jahre und länger. Auf Seiten der öffentlichen Verwaltung als auch auf der privaten Seite der Bauwirtschaft sind die personellen Ressourcen für Planung und Bau knapp. Gerade die privaten Unternehmen werden die Kapazitäten allerdings nur aufbauen, wenn sie Planungssicherheit haben. Es ist Aufgabe des Staates, diese durch verlässliches langfristiges Handeln sicherzustellen, beispielsweise durch eine gesetzliche Fortschreibung des aktuellen Investitionsniveaus.

Zweitens könnte die Kapazität im Schienengüterverkehr, bei der Züge aktuell maximal 600 Meter lang sind, durch einen Streckenausbau, der auch Zuglängen von bis zu 700 Meter ermöglicht, erhöht werden. Das hilft auch dem Autofahrer auf der Autobahn.

Drittens gilt es mit der Herausforderung umzugehen, dass auch bereits kleine Infrastrukturvorhaben durch Bürgerproteste und gerichtliche Verfahren gestoppt werden. Teilweise wird dies durch öffentliche Verwaltungen begünstigt, wenn Planungen aufgrund fehlender Fachkräfte nicht sorgfältig genug erfolgt sind oder zu große Risiken eingegangen wurden. Verwaltungen haben aber auch damit zu kämpfen, Planungen immer wieder an rechtliche Änderungen oder spät vorgebrachte Einwände anzupassen. In der Folge ziehen sich Planungs- und Genehmigungsverfahren in die Länge. Hier sollte der Bund – ohne grundlegende Rechte

einzuschränken – Planungs- und Genehmigungsverfahren straffen. Ein Ansatzpunkt dafür ist die Digitalisierung. Beispielsweise können Planungsunterlagen digital bereitgestellt werden, ergänzt um aussagekräftige Simulationen, womit Bürger früher und besser informiert werden sowie zugleich etwaige Befürchtungen auch konkreter und objektiver adressiert werden können. Höhere Investitionen in die Planung können somit zu mehr Akzeptanz und dadurch zur schnelleren Realisierung von Projekten führen.

Außerdem ließ sich beobachten, dass öffentlich-private Partnerschaften beim Infrastrukturausbau unter Umständen eine schnellere Realisierung des Ausbaus ermöglichen. So eine Partnerschaft ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn eine faire Risikoverteilung für beide Seiten gewährleistet wird.

Kapazitätssteigerung der bestehenden Verkehrsinfrastruktur

Digitalisierung ist auch eine wichtige Basis dafür, die Kapazität der bestehenden Verkehrsinfrastruktur zu steigern. Beispielsweise könnte mit dem digitalen European Train Control System die Leistungsfähigkeit des Schienennetzes – ohne weitere Ausbaumaßnahmen – um 20 Prozent erhöht werden. Dazu müsste dieses System natürlich flächendeckend in Deutschland sowie auch möglichst grenzüberschreitend vorhanden sein. Derzeit gibt es hingegen noch über 20 verschiedene Systeme zur Zugsicherung in Europa.

Ferner könnten mit umfangreicheren Echtzeitdaten (z. B. Verkehrssituation an Baustellen, Stauaufkommen) die Reise- und Routenplanung der Verkehrsteilnehmer auf der Straße dahingehend verbessert werden, dass Überlastungen geringer ausfallen. Des Weiteren werden automatisiertes Fahren sowie vernetzte Fahrzeuge, die untereinander sowie mit der Infrastruktur kommunizieren, eine höhere Taktung ermöglichen. Beispielsweise könnten bei vernetzten LKWs, die in einer Kolonne fahren, die Abstände verringert werden. Bis daraus eine im Verkehrssystem spürbare Wirkung für die Nutzer entsteht, wird es aber noch einige Jahre dauern, auch deshalb, weil die Mobilität der Zukunft eine flächendeckende Verfügbarkeit von Mobilfunk benötigen wird. Dazu sind noch einige Funklücken zu schließen.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Gerhard Hillebrand.

Gerhard Hillebrand ist Vizepräsident Verkehr des ADAC und zugleich Vorsitzender des ADAC Schleswig-Holstein.

Der zunehmende Verschleiß der Straßeninfrastruktur rührt nicht zuletzt daher, dass der Ausbau der Zunahme des Verkehrs zumeist hinterherhinkt. Die Fahrzeugtechnik und ihre Nutzung entwickeln sich schneller als der Ausbau der Verkehrswege. Das teilweise hohe Alter der Infrastruktur bedingt, dass sie gar nicht mehr für die heutigen Belastungen gerüstet ist. Beispielsweise sind viele Brücken auf LKWs mit einem Gesamtgewicht von 24 Tonnen ausgelegt.³⁰ Heutzutage wiegen LKWs aber bis zu 44 Tonnen. Dazu kommt ein zunehmender Schwerlastverkehr. Diese „Überstrapazierung“ der Verkehrswege löst zumeist einen negativen Kreislauf aus: Straßen und Brücken verschleßen noch schneller. Deutlich wird der Verschleiß bei einem Blick auf die sogenannte Zustandserfassung und bewertung (ZEB). Hierzu misst die Bundesregierung den Zustand aller Bundesfernstraßen seit Anfang der 90er Jahre alle vier Jahre mit zwei verschiedenen Fahrzeugen, die vor allem Rillen, optische Mängel und die Griffigkeit bei Nässe dokumentieren. Dabei wird die ZEB auf einer Messskala von 1 (gut) bis 5 (mangelhaft) bewertet: Streckenabschnitte, die schlechter als 3,5 benotet werden, müssen zumindest intensiv beobachtet werden, ab 4,5 beginnt der äußerst kritische Bereich, in dem schnell Abhilfe geschaffen werden muss.³¹

Nach dem ZEB sind derzeit mehr als 17 Prozent der Autobahnen und mehr als 29 Prozent der Bundesstraßen die Substanz in einem kritischen Zustand (siehe Abbildung 2 auf der nächsten Seite). Dort überschreitet die ZEB den Warnwert von 3,5.³²

Über den Zustand aller deutschen Straßen und vor allem der „Verkehrsnadelöhre“, der etwa 120.000 Straßenbrücken und 700 Tunnel, gibt es bisher keine umfassende Erhebung. Allerdings untersuchen die Bauwerksprüfer der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Auftrag der Bundesregierung jährlich alle knapp 40.000 Brücken entlang der Bundesstraßen und vergeben Noten nach einem Verfahren, das jeden Schaden hinsichtlich seiner Auswirkungen auf Stand- und Verkehrssicherheit einordnet. In ihrem letzten Bericht vom März 2019 gab die Bundesanstalt an, dass 12 Prozent der Brückenflächen Zustandsnoten in einem kritischen Bereich aufweisen, also Noten im Bereich zwischen 3 und 4 auf einer Skala von 1 (sehr gut) bis 4 (ungenügend).³³ Der Zustand der Autobahnbrücken (13,5 Prozent im kritischen Bereich) wird ähnlich alarmierend eingeschätzt. Allerdings ist diese Statistik bereits dadurch etwas irreführend, dass sogar fehlende Gitterstäbe im Geländer zu einer ungenügenden Beurteilung führen können – unabhängig vom Zustand des Straßenbelags.³⁴ Sie lässt daher nicht unbedingt Rückschlüsse auf das Ausmaß des Sanierungsstaus zu.

Aussagekräftiger im Hinblick auf den Zustand der Brücken ist eine Studie des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu), in der erstmals im Jahr 2013 umfassend alle der etwa 67.000 kommunalen Brücken untersucht wurden. Das Difu ermittelte dabei, dass etwa die Hälfte der Gemeindebrücken in einem schlechten Zustand ist.³⁵

30 Vgl. Expertengespräch mit Elfriede Sauerwein-Braksiek.

31 Vgl. BMVI (2019a).

32 Vgl. Bundesregierung (2019a).

33 Vgl. BASt (2019a).

34 Vgl. BASt (2019b).

35 Vgl. Difu (2013).

Abbildung 2

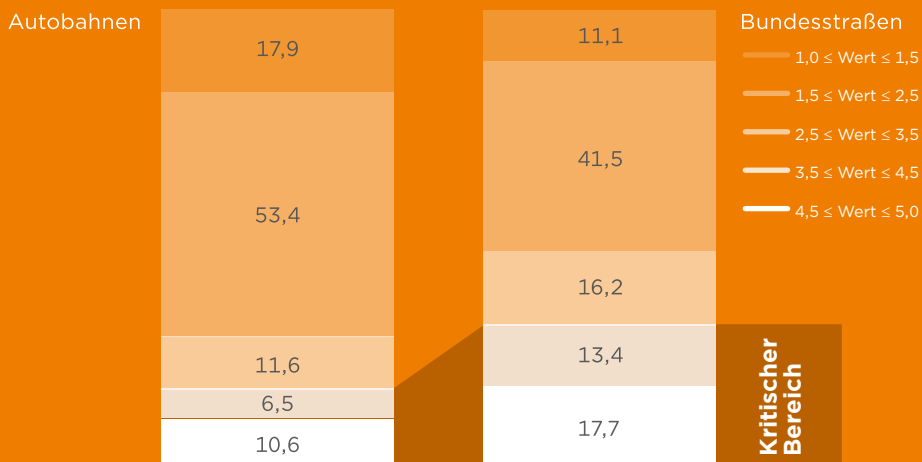
Zustand der Fahrbahnen auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen

Prozentualer Anteil mit jeweiligem Substanzwert

17,1

Prozent

der deutschen Autobahnen haben
einen Substanzwert im kritischen Bereich



Die Zahl der Brücken, bei denen ein Austausch oder eine Sanierung notwendig sind, dürfte sich seitdem noch erhöht haben, da 64 Prozent der kommunalen Brücken vor 1980 gebaut wurden. Etwa 15 Prozent – über 10.000 – der Gemeindebrücken müssten laut Difu bis 2030 vollständig ersetzt werden. Seitens des Bundes ist dieser Austausch aber erst bei etwa der Hälfte der maroden Brücken geplant.

Die Difu-Studie beziffert im Jahr 2013 die erforderlichen Investitionsmittel für den Ersatz der etwa 10.000 maroden Gemeindebrücken bereits auf etwa elf Milliarden Euro bis zum Jahr 2030, hinzu kämen – grob geschätzt – noch etwa fünf bis sechs Milliarden Euro für den Ersatz von Brückenteilen.³⁶ Mittlerweile dürften diese Zahlen allerdings weitgehend überholt sein, da sich seitdem die Baukosten stark erhöht haben. Laut dem Statistischen Bundesamt ist der Preisindex für Straßenbau von 2013 bis 2019 um rund 20 Prozent gestiegen.³⁷

Allein bei den Kommunen summiert sich der Investitionsrückstand bei der Straßenverkehrsinfrastruktur nach Einschätzung der Kämmerer derzeit auf 36,5 Milliarden Euro.³⁸ Nur 35 Prozent der Gemeinden gaben im KfW-Kommunalpanel 2019 an, dass sie in den vergangenen fünf Jahren die Unterhaltung der Straßen und Verkehrsinfrastruktur zumindest weitgehend gewährleisten konnten. Immerhin zwei Drittel der Gemeinden erwarten, dass sich der Investitionsrückstand in diesem Bereich in Zukunft noch ausweiten oder ähnlich groß bleiben wird.

Aktuell wurden für Investitionen in die kommunale Straßenverkehrsinfrastruktur, für die die Kommunen zu 95 Prozent selbst verantwortlich sind, für das Jahr 2019 insgesamt 8,8 Milliarden Euro eingeplant.³⁹ Und für die folgenden Jahre sollen die Investitionen eine ähnliche Größenordnung haben. Der erwähnte Investitionsstau ist aber nicht nur das Resultat von zu geringen Investitionen. Engpässe sind laut den Kommunen nicht nur ihre eigene finanzielle Situation (48 Prozent), sondern auch Kapazitätsengpässe beim eigenen Personal (19 Prozent) und der Bauwirtschaft (26 Prozent).

Trotzdem sind ausreichende Finanzmittel die wesentliche Voraussetzung für den Erhalt und den Ausbau der Straßenverkehrsinfrastruktur. Insofern ist es schon einmal positiv zu sehen, dass sich die Investitionen des Bundes zur Erhaltung der Fahrbahnen von Autobahnen und Bundesstraßen seit 2009 auf insgesamt 2,36 Milliarden Euro im Jahr 2018 mehr als verdoppelt haben. Diese Erhaltungsinvestitionen sind ein Teil des aktuellen Bundesverkehrswegeplans (BVWP), mit dem die Bundesregierung in den Jahren 2016 bis 2030 mit einem Gesamtvolumen von 270 Milliarden Euro die deutschen Fernstraßen, Schienenwege und Wasserstraßen erhalten und ausbauen will.⁴⁰

36 Vgl. Difu (2013).

37 Vgl. Destatis (2019).

38 Vgl. Krone / Scheller (2019).

39 Vgl. Krone / Scheller (2019).

40 Vgl. BMVI (2016).

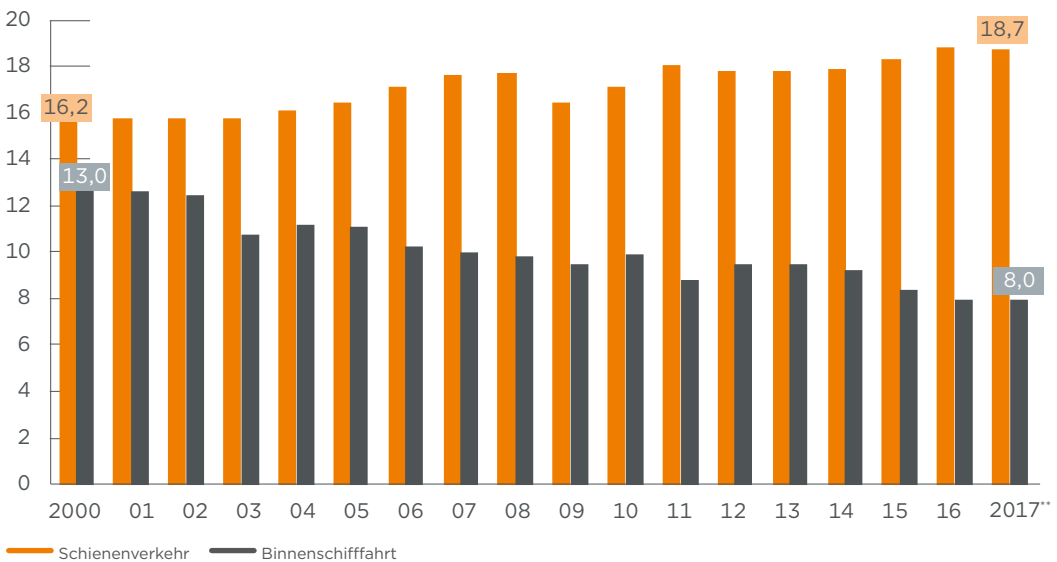
3.2 SCHIENEN UND BINNENWASSERSTRASSEN

Das Straßennetz ist der Hauptverkehrsträger in Deutschland, aber im Zuge von Umwelt- und Klimaschutzdiskussionen steigt der Druck auf Politik und Wirtschaft, mehr Verkehr von der Straße auf umweltfreundlichere Verkehrsträger wie Schiene und Binnenwasserstraße zu verlagern. Dieses Ziel wird auch von der EU-Kommission seit 2018 gefördert und bestimmt die meisten Plänen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).

Aktuell bewältigen allerdings beide Verkehrsträger zusammen gerade einmal 28 Prozent des deutschen Lastkraftverkehrs mit Beförderungsdistanzen von über 50 Kilometern (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Anteile des Schienenverkehrs und der Binnenschifffahrt an der Güterverkehrsleistung*

In Prozent



* Ohne Luftverkehr, Seeverkehr und ohne Transporte deutscher Lastkraftfahrzeuge bis 6 t zulässiges Gesamtgewicht oder 3,5 t Nutzlast.

** Zum Teil vorläufige Werte

Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Schienen und Binnenwasserstraßen werden dabei zumeist im intermodularen oder Kombinierten Güterverkehr (KV) genutzt.⁴¹ Die Waren werden auf der gesamten Strecke mit verschiedenen Verkehrsmitteln transportiert. Auf dem Hauptlauf nutzt die Transportkette dabei heute zumeist die Schiene oder Wasserstraße, beim Nachlauf oder der Feinverteilung durchweg die Straße. In Zukunft sind dabei beispielsweise auch Drohnen möglich. Damit der Verkehr reibungslos läuft, ist die Qualität der Umschlagterminals entscheidend.

3.2.1 SCHIENEN

Das deutsche Schienennetz wurde seit der Bahnreform im Jahr 1994 um 6.100 Kilometer verkleinert und weist aktuell eine Länge von 39.500 Kilometer auf, von denen 33.300 Kilometer die Deutsche Bahn AG –bzw. die DB Netz AG als Unternehmen in privater Rechtsform, das zu 100 Prozent dem Staat gehört – betreibt. Etwa 60 Prozent des Schienennetzes sind heute elektrifiziert, bis zum Jahr 2025 will die Bundesregierung mindestens 70 Prozent mit Oberleitungen ausgestattet haben.⁴² Zum Vergleich: In den Nachbarländern Schweiz (100 Prozent), Belgien (86 Prozent) und Niederlande (76 Prozent) ist die Elektrifizierung deutlich weiter.



41 Vgl. Allianz pro Schiene (2019a).

42 Vgl. Allianz pro Schiene (2019b).

Entlang der Schienenwege hat die Deutsche Bahn außerdem etwa 18.500 Kilometer Glasfaser verlegt. Bis mit dem Bahn-Projekt „Broadband“ alle Schienen so ausgestattet sind, kann es aber noch bis zum Jahr 2040 dauern.⁴³

Ähnlich wie das Straßennetz stößt auch das Schienennetz an die Kapazitätsgrenzen. Die zunehmende Belastung resultiert nicht zuletzt daraus, dass der gesamte Personen- und Güterverkehr über dieselben Schienen läuft und Züge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten dasselbe Netz benutzen müssen. Anders als beispielsweise in Frankreich oder Japan gibt es in Deutschland kein zusätzliches Hochgeschwindigkeitsnetz für schnelle Fernzüge. An einigen Knoten, wo zahlreiche Schienenstränge zusammenfließen, wie beispielsweise dem Hamburger oder Kölner Hauptbahnhof, können die Züge nur Schrittgeschwindigkeit fahren und müssen zumeist auf freie Gleise warten.

Die Kapazitätsgrenzen werden gerade im Güterverkehr auch dadurch erreicht, dass vielfach Überholgleise für Güterzüge abgebaut wurden und der Personenverkehr vermehrt Vorrang bekommt.⁴⁴ Dies verringert die Pünktlichkeit der Güterzüge und infolgedessen auch die Zufriedenheit der Kunden. Deshalb wird wieder vermehrt die Straße für den Gütertransport genutzt, was wiederum dort die Überlastung steigert.

Die Pünktlichkeit der Züge ist ein Indikator für die Überlastung des Netzes. Bereits im Jahr 2018 hatte ein Viertel der Personenfernverkehrszüge Verspätungen von mehr als 5 Minuten.⁴⁵ Aufgrund des schlechten Zustands der Schienen und damit notwendigen sowie geplanten Baustellen dürfte sich dies künftig noch weiter verschärfen.⁴⁶ Laut der Deutschen Bahn betrifft die Überlastung zwar nur 5 Prozent des Netzes, dies betrifft aber 70 Prozent des Fernverkehrs.⁴⁷

Darüber hinaus ist die Substanz des Schienennetzes in weiten Teilen in einem schlechten Zustand, da sie zunehmend überaltert ist.⁴⁸ Beispielsweise müssen 4,4 Prozent der Eisenbahnbrücken, etwa 1.100 Brücken, dringend erneuert werden.⁴⁹ Zudem mangelt es bei möglichen Unfällen an befahrbaren Ausweichstrecken, zumal viele Umgehungsstrecken heute noch nicht elektrifiziert sind.

43 Vgl. Delhaes (2019c).

44 Vgl. Schlautmann (2019).

45 Vgl. Fockenbrock (2019b).

46 Vgl. Monopolkommission (2019).

47 Vgl. Schlesinger (2019).

48 Vgl. Böll / Ramthun (2019).

49 Vgl. Allianz pro Schiene (2017).



Dirk Flege (Allianz pro Schiene)

Um bis zum Jahr 2030 wie geplant den Personenzugverkehr zu verdoppeln und den Anteil der Schiene am Güterverkehr auf 25 Prozent zu steigern, reicht die Dimension und Qualität der deutschen Schieneninfrastruktur bei weitem nicht aus. Der Infrastrukturbetreiber DB Netz hat errechnet, dass sich allein der Investitionsrückstau für das bestehende Schienennetz auf die gigantische Zahl von 58 Milliarden Euro summiert. Für die Sanierung und dauerhafte Verbesserung des bestehenden Schienennetzes dürften jährlich Investitionen von gut 6 Milliarden Euro erforderlich sein. Zusätzlich müssten in die Digitalisierung und den Ausbau des Netzes etwa 4 Milliarden Euro fließen, das wären zusammen über zehn Milliarden Euro im Jahr. Umgerechnet auf die deutsche Bevölkerung wäre das aber im europäischen Vergleich immer noch wenig, denn bisher rangiert Deutschland europaweit in diesem Vergleich im hinteren Drittel. Die Investition von 4,6 Milliarden Euro im Jahr, die die Bundesregierung ab dem Jahr 2020 für Investitionen im Bestandsnetz aus Haushaltsmitteln zur Verfügung stellen will, reichen dagegen nicht aus. Steigende Baupreise und durchaus sinnvolle neue Bauauflagen werden die geplanten Mehrinvestitionen von 1,1 Milliarden Euro im Jahr schon aufzehren: Allein die zusätzlichen Kosten für den Brückenbau, die sich in den vergangenen drei Jahren ungefähr verdoppelt haben (siehe Kapitel 3), brauchen diesen Betrag auf. Die neue Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung verpflichtet die DB Netz zudem, „kapazitätsschonend“ zu bauen, daher möglichst viel Verkehr während der

Bauarbeiten auf der Schiene zu belassen. Das ist durchaus sinnvoll, damit während der Bauzeit der Güter- und Personenverkehr nicht dauerhaft auf die Straße abwandert. Aber es ist teurer, als die Strecke zu sperren, um wie bisher am kostengünstigsten zu bauen.

Für die Akzeptanz bei der Bevölkerung ist es auch wichtig, dass die Projekte nicht mehr Jahrzehnte dauern. Das Planungsrecht und die Prozesse müssen weiter beschleunigt werden. Zudem sollte für die Baufirmen auch die Finanzierung des Neubaus von Schieneninfrastruktur verlässlich sein. Dabei ist die neue Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung schon ein Fortschritt, da die Infrastrukturgesellschaften mit einer Laufzeit von zehn Jahren kalkulieren können. Langfristig könnte ich mir beim Schienenneubau aber ein Verfahren wie in der Schweiz vorstellen, wo beim Start von Neubauvorhaben die Gesamtfinanzierung komplett gesichert ist.

Der deutsche Bundesverkehrswegeplan ist kein Finanzplan, sondern ein Bedarfsplan. Da karren die Bundesländer ihre Wunsch-Dir-Was-Listen nach Berlin, nach dem Motto, der Bund zahlt und nicht wir. Deswegen entstehen auch viele unsinnige Projekte, vor allem im Straßenbereich. Die Kriterien sind weder sachgemäß noch zeitgemäß und auf Straßennutzung ausgerichtet, daher greifen sie nicht für die Schieneninfrastruktur. So kann für den Zug eine elektrifizierte Ausweichstrecke sehr wichtig sein, um Güter auf der Schiene zu behalten. Das schlägt sich aber im aktuellen Nutzen-Kosten-Faktor mit keinem Punkt nieder. Im Straßenverkehr gibt es immer irgendeine Ausweichstrecke. Wie schwierig das aber im Schienenverkehr ist, zeigte sich beispielsweise im Sommer 2017, als durch einen Unfall bei Bauarbeiten in der Nähe von Rastatt die wichtigste Nord-Süd-Marginalstrecke durch Europa wochenlang lahmgelegt war, weil die Gleise absackten und eine elektrifizierte Ausweichstrecke fehlte. Die Investitions-Kriterien müssen für den Schienenverkehr also grundlegend reformiert werden. Da gibt es allerdings keine einfache Formel, da müssen Wissenschaftler und Gutachter ran.

Bisher hatte die Bundesregierung keine bahnpolitische Strategie, die den Bürgern die Vorteile des Bahnausbaus zeigt. Das ist aber wichtig für die Akzeptanz bei den Bürgern. Mit dem Deutschland-Takt 2030 ist jetzt Besserung in Sicht. Das ist erstmals eine Vision, die das Angebot auf die Menschen ausrichtet, auf einen sinnvollen Fahrplan abzielt. Der Takt sieht einen Anschluss der Regionen vor, die Metropolen sollen miteinander im Halbstunden- oder Stundentakt verbunden werden. Damit lassen sich dann auch die Ausbauprojekte begründen.

Wie wichtig es ist, die Kapazität der Schieneninfrastruktur auszubauen, zeigt sich heute auch in den sogenannten Knoten, in denen die Züge nur in Kriechgeschwindigkeit fahren, wie beispielsweise auf der Kölner Eisenbahnbrücke über den Rhein oder dem Hamburger Hauptbahnhof. Zudem sind wir beim Anschluss an die Eisenbahnnetze der Nachbarländer in Europa am weitesten zurück. Das gilt nicht nur beim Anschluss an Alpendurchquerungen wie im Inntal, auch die Elektrifizierung der Grenzübergänge ist vernachlässigt worden. Das deutsche Schienennetz ist ohnehin nur zu etwa 60 Prozent mit Oberleitungen ausgestattet, an den Grenzübergängen sind es sogar nur 45 Prozent. Vor allem die Grenzübergänge nach Osteuropa müssen elektrifiziert werden, beispielsweise ist von den 13 Grenzübergängen nach Tschechien nur ein einziger elektrifiziert. Das ist auch einer der Gründe, warum so viele osteuropäische LKWs durch Deutschland fahren.

Die geplante Digitalisierung des Schienennetzes kann die Gleiskapazität nennenswert steigern. Es muss jedoch für eine robuste Umsetzung gesorgt werden, denn bei einem Zwischenfall ist der betroffene Umkreis bei der digitalen Schiene viel größer als bei der

Steuerung durch ein herkömmliches Stellwerk. Zudem plant die Europäische Kommission marktferne, bürokratische Bremsvorschriften für das Europäische Zugsicherungssystem (ETCS). Solch restriktive „Bremsensatzpunkte“ könnten in Teilen des Netzes die Züge ausbremsen und damit die Kapazitätssteigerung durch die Digitalisierung zumindest teilweise wieder aufbrauchen.

Ein weiterer Engpass ist die Forschung für den Bahnverkehr. Das, was die zahlreichen Beamten der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) über den Straßenverkehr und -belag erforschen, fehlt beim Schienenverkehr bisher. Die Lieferanten für den Schienenverkehr sind stark fragmentiert, es gibt keine Innovationsklammer für das ganze System. Mit dem beim Eisenbahnbundesamt angesiedelten deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung in Dresden ist dieses Jahr ein ganz kleiner Anfang gemacht worden, aber der Etat von acht Millionen Euro jährlich reicht bei weitem nicht für eine wirkungsvolle Forschung aus.

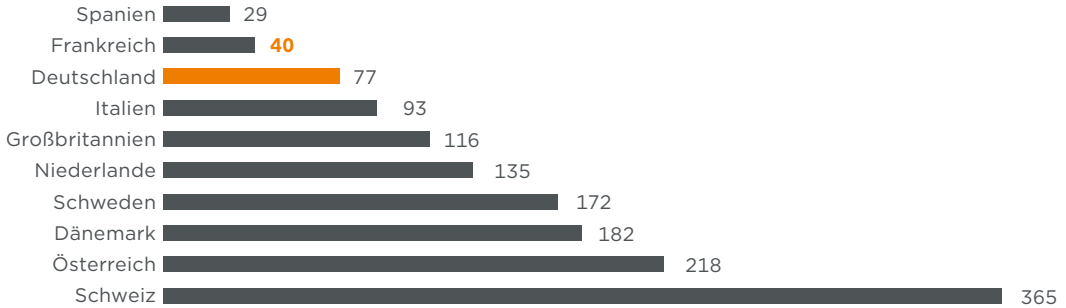
Auf den Gleisen ließe sich zudem vieles beschleunigen, wenn Züge mit verschiedenen Geschwindigkeiten auch auf verschiedenen Gleisen fahren würden. Dazu müsste aber das Schienennetz stark ausgebaut werden. Das ist in Deutschland bisher immer aus Kostengründen verworfen worden. Das japanische und französische Modell, bei denen die Hochgeschwindigkeitszüge auf einem eigenen Gleisnetz fahren, lässt sich auch nicht einfach auf Deutschland übertragen. Denn die japanischen und französischen Hochgeschwindigkeitszüge verkehren damit zwar superpünktlich, aber die beiden Länder müssen auch nicht so viel Güterverkehr bewältigen wie Deutschland.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Dirk Flege.

Dirk Flege ist Geschäftsführer der Allianz pro Schiene.

Bei den Investitionen ist klar zu konstatieren, dass Deutschland im westeuropäischen Vergleich wenig in die Schieneninfrastruktur investiert (siehe Abbildung 4 auf der nächsten Seite). Einzig Spanien und Frankreich weisen in der Gruppe der betrachteten Länder noch geringere staatliche Investitionsquoten auf. Als klarer Spitzenreiter sticht die Schweiz aus dieser Gruppe hervor: Mit 365 Euro wurde dort 2018 rund fünfmal so viel Geld pro Kopf in die Schieneninfrastruktur investiert wie hierzulande.

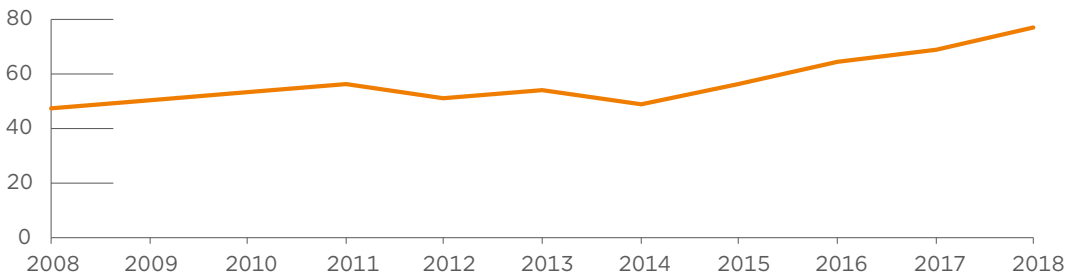
Abbildung 4: Schieneninfrastruktur-Investitionen im Ländervergleich
Staatliche Pro-Kopf-Investitionen, in Euro, 2018



Quelle: Allianz Pro Schiene

Die 77 Euro pro Kopf, die 2018 vom Bund in das Schienennetz investiert wurden, sind schon das Resultat eines Anstiegs im Vergleich zum Vorjahr um 11,6 Prozent.⁵⁰ Seit 2015 sind die staatlichen Schieneninfrastruktur-Investitionen in Deutschland pro Jahr um rund 12 Prozent gestiegen (siehe Abbildung 5). Angesichts ebenfalls stark gestiegener Baupreise fällt der Anstieg der Realinvestitionen jedoch geringer aus.

Abbildung 5: Schieneninfrastruktur-Investitionen in Deutschland
Pro-Kopf-Investitionen des Staates, in Euro

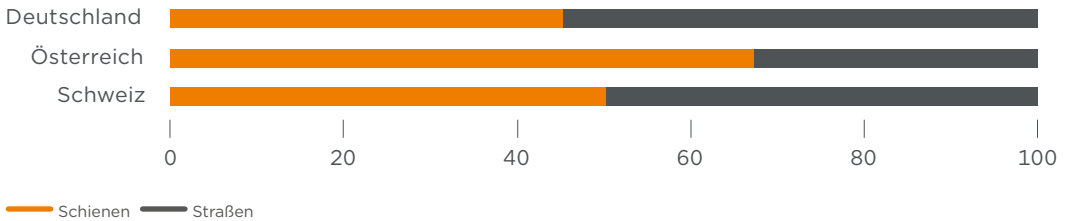


Quelle: Allianz Pro Schiene

Blickt man nur auf Deutschland, Österreich und die Schweiz, so ist Deutschland das einzige Land dieser Gruppe, das 2018 insgesamt mehr Geld für Straßenbau und -instandhaltung ausgegeben hat als für das Schienennetz (siehe Abbildung 6). In Österreich waren die Prioritäten anders verteilt, während sich die Ausgabenanteile in der Schweiz annähernd die Waage gehalten haben.

⁵⁰ Vgl. Allianz pro Schiene (2019a).

Abbildung 6: Investitionen in Schienen oder Straßen in der DACH-Region
 Proz. Anteile an den staatlichen Bau- und Instandhaltungsinvestitionen, 2018



Quelle: Allianz Pro Schiene

3.2.2 BINNENWASSERSTRASSEN

Deutschland verfügt über rund 7.300 Kilometer Binnenwasserstraßen, die durch etwa 350 Schleusen, 300 Wehre, vier Schiffshebewerke und acht Sperrwerke geregelt werden. Die mit Abstand wichtigste deutsche Binnenwasserstraße ist der Rhein, über den rund 80 Prozent der verschifften Güter transportiert werden.⁵¹

Bei den Binnenwasserstraßen sind vor allem die Schleusen in einem schlechten Zustand. Ungefähr die Hälfte der Schleusen wurde vor 1950 gebaut, 10 Prozent stammen noch aus der Zeit vor 1900.⁵² Fehlendes Personal und Sanierungsstau haben dazu geführt, dass etwa 50 Schleusenanlagen und 30 Wehranlagen in den kommenden zehn Jahren ersetzt werden müssen.⁵³

Die Kapazität der Binnenwasserstraßen in Deutschland wird allerdings nicht nur durch den schlechten Zustand vieler Schleusen, die das Nadelöhr bei diesem Verkehrsträger sind, beschränkt. Es gibt einen weiteren Engpass, der sich auch mit höheren Investitionen nur schwer beseitigen lässt: Die zunehmend heißen Sommer sorgen verstärkt für Niedrigwasser und machen so die Wasserwege für immer mehr Tage im Jahr nicht schiffbar. So führte die wichtigste Wasserstraße – der Rhein – an insgesamt 132 Tagen oder 36 Prozent des besonders heißen Jahres 2018 laut Bundesanstalt für Gewässerkunde Niedrigwasser. Im Jahr zuvor waren es nur 25 Tage. Das Niedrigwasser führte dazu, dass 2018 die Binnenschiffe laut Daten des Statistischen Bundesamtes 11,1 Prozent weniger Güter (insgesamt 198 Millionen Tonnen) beförderten als im Vorjahr.

Nun hat zwar die Bundesregierung im Bundesverkehrswegeplan 2030 bereits als vorrangliches Projekt die Vertiefung des Nadelöhrs zwischen St. Goar und Mainz um 20 Zentimeter aufgenommen. Für dieses mindestens 60 Millionen Euro kostende Projekt

⁵¹ Vgl. WSV (2019).

⁵² Vgl. BMVI (2017).

⁵³ Vgl. Bundesregierung (2018).



läuft aber noch das Planfeststellungsverfahren. Die Fertigstellung ist mithin erst nach 2030 zu erwarten.⁵⁴ Zudem prüft die Bundesregierung, inwieweit der Rhein durch zusätzliche Vertiefungen nachhaltig schiffbar zu machen ist. Allerdings ist es dabei irrelevant, wie tief das Flussbett ist, wenn bei Niedrigwasser der Pegel insgesamt zu gering ist.

Insgesamt plant die Bundesregierung bis 2030 rund 24,5 Milliarden Euro in die Binnenwasserstraßen zu investieren. Dies sind 9,2 Prozent der gesamten im Bundesverkehrswegeplan veranschlagten Mittel.⁵⁵ Des Weiteren soll mit einem Aktionsplan „Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Mobilität“ die Effizienz des Schifffahrtverkehrs gesteigert werden.⁵⁶ Dabei geht es vor allem um die Digitalisierung der Wasserstraßen mit 5G-Sendemasten und den Ausbau der digitalen Ladeinfrastruktur (AIS) der Umschlagshäfen. Derzeit weist die 4G-Infrastruktur an den Wasserwegen noch große Lücken auf.⁵⁷

54 Vgl. DVZ (2019a).

55 Vgl. BMVI (2019b).

56 Vgl. BMVI (2018b).

57 Vgl. Lohbeck (2019).

3.3 DIGITALE INFRASTRUKTUR

3.3.1 BREITBANDNETZE

Die Digitalisierung der Sprach- und Datenübertragung und die erhebliche Steigerung der Übertragungskapazitäten durch Breitbandtechnologien haben einen Konvergenzprozess eingeleitet, der die Grenzen zwischen Mobilfunk-, Festnetztelefon- und TV-Kabelnetzen verschwimmen lässt. NGA-Netze („Next Generation Access Networks“) sind durch eine einheitliche, paketvermittelte Netzinfrastruktur gekennzeichnet, welche auf dem Internet-Protokoll (IP) basiert.

Seit seiner vollständigen Liberalisierung im Jahr 1998 ist der Telekommunikationsmarkt in Deutschland grundsätzlich privatwirtschaftlich organisiert. Im Festnetzsegment hat die Deutsche Telekom jedoch als ehemaliges Staatsmonopol nach wie vor eine dominante Stellung. Insbesondere befindet sie sich im Besitz der kupferbasierten Teilnehmeranschlussleitungen (TAL), die traditionell einen Großteil der direkten Kundenzugänge auf der „letzten Meile“ herstellen.

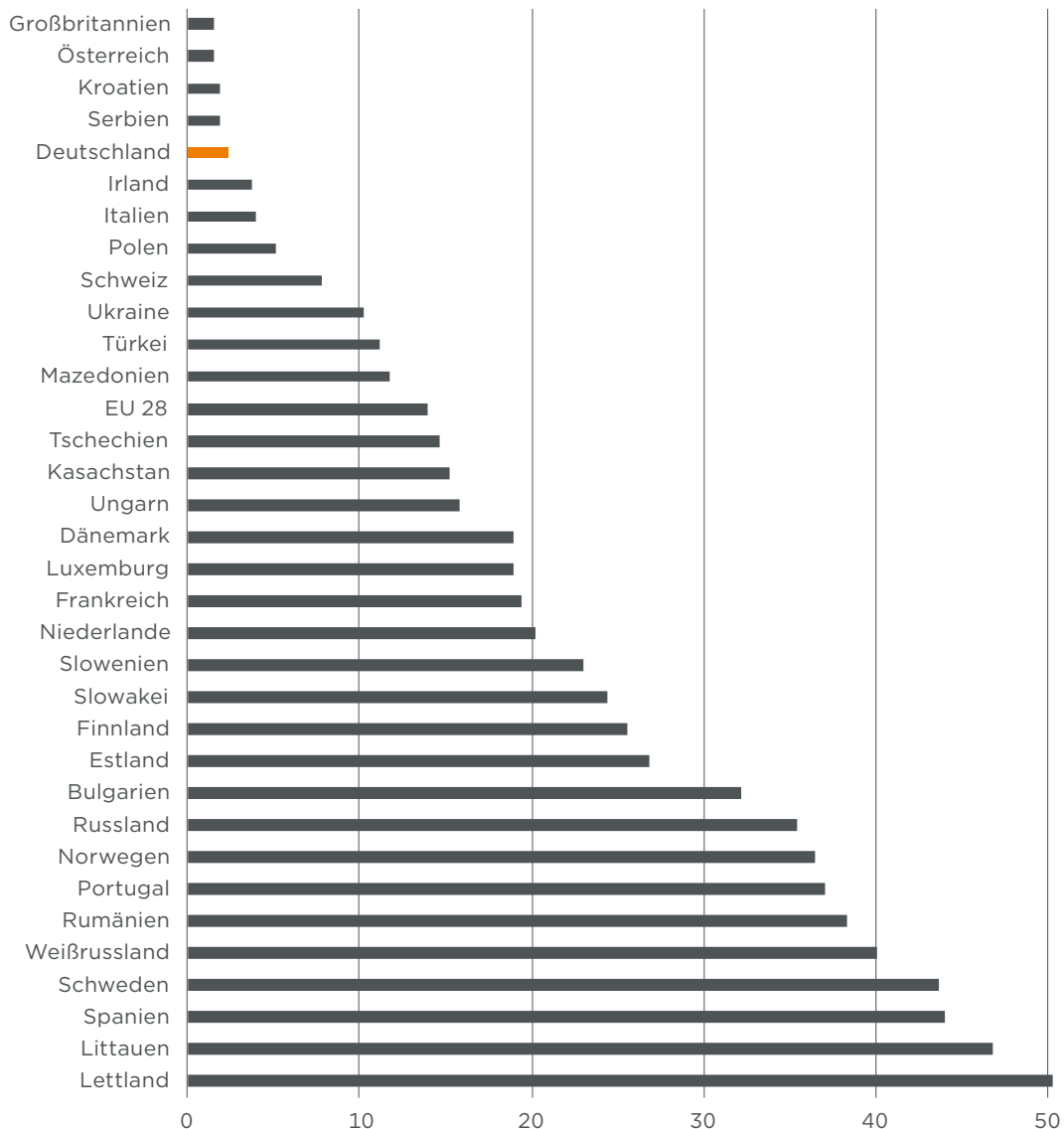
Regionale Anbieter, die zumeist aus kommunalen Stadtwerken hervorgegangen sind, verfügen in ihren jeweiligen Einzugsgebieten ebenfalls über eine starke Marktposition. Zudem bieten die TV-Kabelnetzbetreiber seit 2006 Internet- und Telefondienstleistungen an und haben sich als wichtige Wettbewerber auf dem Breitbandmarkt etabliert. Infolge der Übernahme von Unitymedia durch Vodafone mit seiner Konzerntochter Kabel Deutschland wird der TV-Kabelmarkt künftig von einem einzigen überregionalen Unternehmen dominiert.

Glasfaser ist die Übertragungstechnologie der Zukunft. Im Festnetz geht es um FTTH/B-Anschlüsse, bei denen Glasfaserkabel bis in die Wohnung (FTTH, „Fibre to the Home“) oder zumindest bis in den Hauskeller (FTTB, „Fibre to the Building“) verlegt werden, sodass nur noch die hausinterne Verkabelung kupferbasiert ist. Diese Anschlussart ist heute zwar bereits gigabitfähig, jedoch in Deutschland noch vergleichsweise selten anzutreffen. So wurden im dritten Quartal 2018 hierzulande nur 2,3 Prozent der Haushalte mit FTTH/B abgedeckt⁵⁸, während die Mehrheit der europäischen Länder mit dem reinen Glasfaserausbau bereits deutlich weiter ist (siehe Abbildung 7 auf der nächsten Seite).

58 Vgl. FTTH Council Europe (2019).

Abbildung 7: FTTH/B-Abdeckung in Europa*

Anteil der versorgten Haushalte, in Prozent

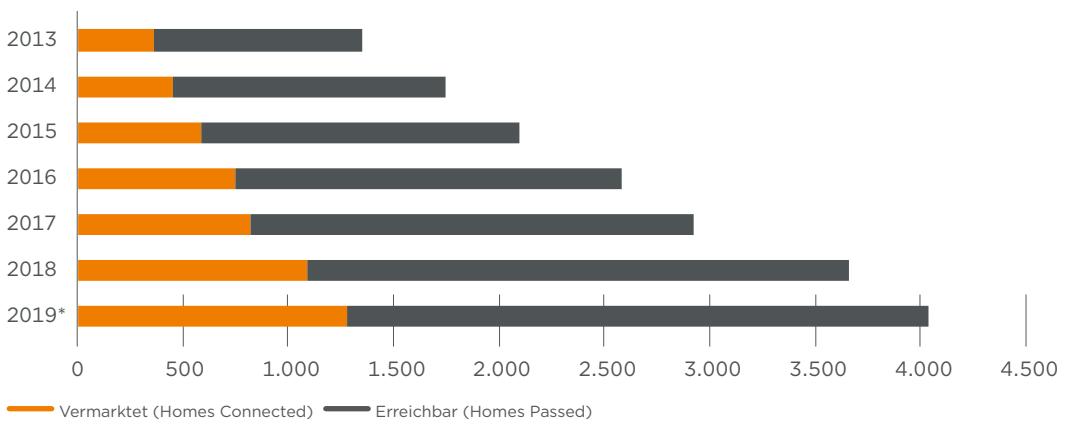


* Stand: September 2018

Quelle: FTTH Council Europe (2019)

Eine mögliche Ursache dafür, dass Deutschland bei der Glasfaserabdeckung im internationalen Vergleich als Entwicklungsland erscheint, liegt auf der Nachfrageseite. So werden nur knapp 32 Prozent der tatsächlich verfügbaren Glasfaseranschlüsse hierzulande auch genutzt (siehe Abbildung 8). Netzbetreiber, die in den Glasfaserausbau investieren, stehen offenbar vor einem Vermarktungsproblem: Selbst dort, wo höherwertige Anschlüsse verfügbar sind, geben sich die Kunden oftmals mit niedrigeren Bandbreiten zu günstigeren Vertragsbedingungen zufrieden.

Abbildung 8: Inanspruchnahme von Glasfaseranschlüssen in Deutschland
Verfügbare FTTH/B-Anschlüsse, in Tausend



* Schätzung (bis Juni)
Quelle: VATM / Dialog Consult

Auf der Angebotsseite bestehen aber ebenfalls starke Beharrungstendenzen zugunsten der traditionellen Kupfernetze. So sind die hohen Investitionen, die in Deutschland in den letzten zehn Jahren in den Kapazitätsausbau der Breitbandnetze getätigt wurden, vor allem in die DSL-Technologie geflossen. Diese verzeichnet mit knapp 66 Prozent den höchsten Anteil der Anschlüsse im Festnetz.⁵⁹ Alternative Anbieter, welche die DSL-Technologie nutzen, greifen als Vorleistung auf die physisch entbündelte Teilnehmeranschlussleitung der Deutschen Telekom zurück.

Bei ADSL-Anschlüssen kommt Glasfaser nur im Backbone, also im Kernbereich des Telekommunikationsnetzes bis zum Hauptverteiler, zum Einsatz (siehe Abbildung 9 auf der nächsten Seite). ADSL bietet Bandbreiten von maximal 16 Mbit/s im Downstream. Bandbreiten bis zu 50 Mbit/s werden mit der Weiterentwicklung VDSL erreicht. Hier wird das Hauptkabel zum Kabelverzweiger (KVZ) hochgerüstet, sodass die Glasfaser bis an den Straßenrand reicht (FTTC, „Fibre to the Curb“). Ab dort erfolgt die Übertragung weiterhin über die Kupferdoppelader der traditionellen TAL. Dabei verringern sich die

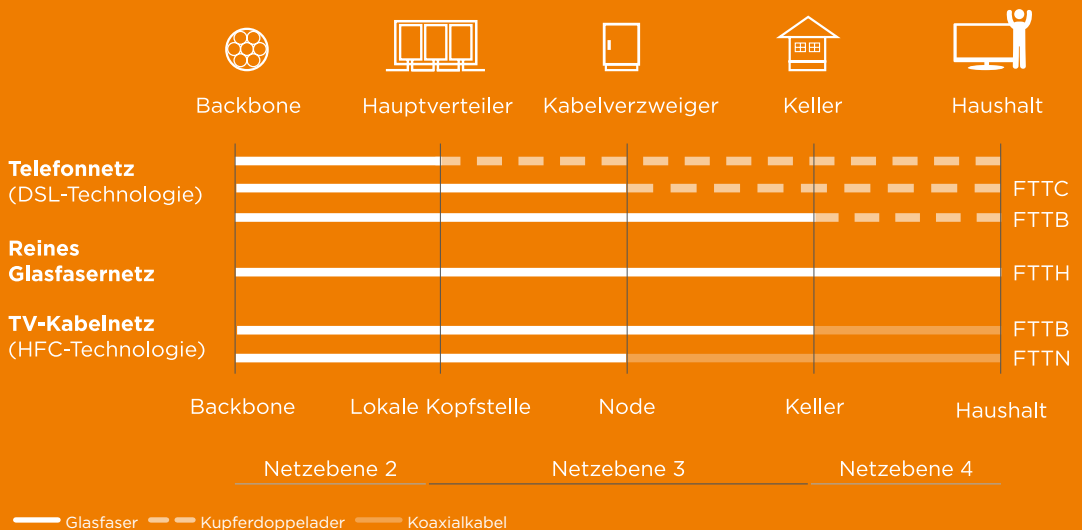
⁵⁹ Vgl. Bundesnetzagentur (2019).

65

Prozent
der Haushalte sind an das
TV-Kabelnetz angeschlossen

Nur 9 Prozent verfügen über einen direkten Glasfaseranschluss (FTTH/B).

Abbildung 9: Der Einsatz von Glasfaser in Breitbandnetzen



Quelle: Handelsblatt Research Institute

tatsächlich erreichten Bandbreiten deutlich, je weiter der jeweilige Teilnehmeranschluss vom KVZ entfernt ist. Zudem führt die parallele Nutzung von VDSL auf mehreren Leitungen in einem Kabel zu Signalstörungen (sogenanntes „Übersprechen“), sodass die Leistungseinbußen auch mit der Anzahl der Haushalte zunehmen, die am selben KVZ mit VDSL versorgt werden.

Störungen durch Übersprechen können mithilfe des Vectoring-Verfahrens gefiltert werden. Der Einsatz von VDSL-Vectoring ermöglicht Übertragungsraten bis zu 100 Mbit/s im Downstream. Dies funktioniert jedoch nur, wenn an einem bestimmten Kabelverzweiger nur ein einzelnes Unternehmen die Vectoring-Technologie nutzt. Somit ist es konkurrierenden Unternehmen nicht mehr möglich, eigene VDSL-Anschlüsse an einem bereits mit Vectoring erschlossenen KVZ zu betreiben. Als Alternative bleibt ihnen das leistungsschwächere ADSL, der Rückgriff auf Bitstromzugang als Vorleistungsprodukt oder der Eigenausbau von FTTH/B-Anschlüssen.

VDSL-Vectoring ist eine Übergangstechnologie, die das Gigabitziel selbst mit der Ausrüstung auf den Nachfolgestandard „G.fast“ nur im Ausnahmefall tatsächlich erreichen wird. Die Kupferdoppelader des Telekommunikationsnetzes wird also perspektivisch durch Glasfaserkabel ersetzt werden müssen, wenn Deutschland im internationalen Vergleich wettbewerbsfähig bleiben will.

Anders gelagert ist die Situation bei den HFC-Kabelnetzen („Hybrid Fibre Coaxial“), da diese deutlich leistungsfähiger sind als die aufgerüstete Kupferdoppelader des traditionellen Telekommunikationsnetzes. Mit einer Flächenabdeckung von knapp 65 Prozent des Bundesgebiets stellen sie zudem eine starke aktuelle Konkurrenz für VDSL dar.⁶⁰ Die TV-Kabelnetzbetreiber haben im Regionalbereich Glasfaserstrecken bis zu den Straßenverteilerpunkten (FTTN, „Fibre to the Node“) verlegt. Von dort erfolgt die Datenweiterleitung in die Haushalte über das bestehende kupferbasierte Koaxialkabel (siehe Abbildung 9). Die HFC-Netze sind weitgehend auf den Übertragungsstandard Docsis-3.0 umgestellt, der zurzeit die Vermarktung von Download-Geschwindigkeiten bis zu 400 Mbit/s erlaubt. Der Nachfolgestandard Docsis-3.1 verspricht sogar Datenraten bis zu 10 Gbit/s im Downstream. Damit zählt HFC neben FTTH/B zu den gigabitfähigen Technologien für leitungsgebundene Übertragungsnetze (siehe Abbildung 10 auf der nächsten Seite). Diese gute Ausgangslage muss jedoch relativiert werden: Da HFC-Netze auf der „letzten Meile“ kupferbasiert sind, stellen sie – ähnlich wie die DSL-Technologien oder die Mobilfunknetze – eine „geteilte Ressource“ dar. Somit teilen sich alle angeschlossenen Haushalte die Datenrate ab dem Straßenverteiler.

60 Vgl. BMVI / atene KOM (2019).

Abbildung 10: Breitbandverfügbarkeit in Deutschland

Stand: Ende 2018

Breitbandverfügbarkeit nach Bundesländern, in Prozent		
	Netzabdeckung mit Bandbreiten ...	
	... ab 50 Mbit/s	... ab 1 Gbit/s
Baden-Württemberg	87,4	6,2
Bayern	88,7	47,9
Berlin	96,0	54,0
Brandenburg	82,5	6,6
Bremen	97,2	92,5
Hamburg	97,0	87,0
Hessen	89,7	19,3
Mecklenburg-Vorpommern	72,6	14,9
Niedersachsen	87,4	37,4
Nordrhein-Westfalen	91,3	14,2
Rheinland-Pfalz	85,8	12,8
Saarland	92,8	46,9
Sachsen	78,1	31,5
Sachsen-Anhalt	68,4	6,2
Schleswig-Holstein	88,8	48,0
Thüringen	83,8	14,1
Breitbandverfügbarkeit nach Gebieten, in Prozent		
Städtisch (ab 500 Einwohner/km ²)	95,2	38,8
Halbstädtisch (100 bis < 500 Einwohner/km ²)	82,9	14,5
Ländlich (< 100 Einwohner/km ²)	64,1	7,7
Entwicklung der Breitbandverfügbarkeit, in Prozent		
2010	39,5	
2011	48,2	
2012	55,0	
2013	59,7	
2014	66,4	
2015	70,1	
2016	75,5	
2017	80,5	
2018	87,8	27,3
Gigabitfähige Infrastrukturen		
Breitbandverfügbarkeit der leitungsgebundenen Übertragungsnetze Unterschiedliche Technologien (ab 50 Mbit/s)		
	HFC-Netze 64,6	FTTH/B 8,9
		
		VDSL 74,5

Auch der Ausbau der Mobilfunknetze mit der LTE-Technologie schreitet voran. So hat sich die Zahl der LTE-Basisstationen von 9.600 im Jahr 2012 stetig auf 54.911 im Jahr 2018 erhöht.⁶¹ Der LTE-Standard erreicht aktuell eine maximale Downloadrate von 375 Mbit/s. Dies ist ein deutlicher Fortschritt gegenüber dem Mobilfunkstandard der Vorgängergeneration (UMTS), der auch nach der Erweiterung hinter der Marke von 50 Mbit/s zurückbleibt. Zusätzlich zur Erhöhung der Geschwindigkeit geht LTE gegenüber UMTS mit einer höheren Nutzerkapazität pro Zelle einher. Mit LTE-Advanced werden diese Faktoren nochmals verbessert und Downloadraten von über 1 Gbit/s möglich.

Der Mobilfunkstandard 5G, dessen Markteinführung in größerem Umfang voraussichtlich ab 2020 beginnt, wird technologisch Übertragungsraten von bis zu 10 Gbit/s bei höherer Zuverlässigkeit und vernachlässigbaren Verzögerungsraten (Latenz) bieten. Somit können große Datenpakete nahezu in Echtzeit übermittelt werden, was für viele innovative Anwendungen ein Schlüsselfaktor ist.

Aufgrund des hohen Nutzerpotenzials sind Investitionen in Breitbandnetze vor allem in Ballungsgebieten attraktiv. In ländlichen Regionen ist zwar der Wettbewerbsdruck geringer, jedoch amortisieren sich Netzinvestitionen nur langfristig, da den kostenintensiven, erdgebundenen Verlegearbeiten nur eine vergleichsweise geringe Nachfrage gegenübersteht.

Dies schlägt sich auch in der bisher erreichten Breitbandversorgung nieder. Hier zeigen sich große Unterschiede zwischen Stadt und Land, Stadtstaaten und Flächenländern sowie alten und neuen Bundesländern (siehe Abbildung 10). Gegenüber großen Firmen mit mehr als 500 Beschäftigten, die in der Regel über individuelle Breitbandanschlüsse verfügen, ist die Versorgung kleiner und mittlerer Unternehmen stark davon abhängig, ob diese in Gewerbegebieten oder Mischgebieten angesiedelt sind. Im zweiten Fall sind sie deutlich benachteiligt.⁶²

Zur Bewältigung des zukünftigen Bedarfs an Datenübertragungskapazität muss das Glasfasernetz weiter verdichtet und näher zum Kunden gebracht werden. Dies gilt auch für die Mobilfunknetze, da die Funkmaste ebenfalls eine Glasfaseranbindung benötigen. Bislang erfolgt der besonders kostenintensive FTTH/B-Ausbau zu 82 Prozent durch alternative Netzbetreiber⁶³, während die Deutsche Telekom als Inhaberin der Kupferanschlussleitungen eher auf VDSL-Vectoring setzt.

61 Vgl. Bundesnetzagentur (2013); Bundesnetzagentur (2019).

62 Vgl. BMVI / TÜV Rheinland (2018).

63 Vgl. BREKO (2019).



Dr. Stephan Albers (BREKO)

Ausgangslage für den Glasfaserausbau in Deutschland

Die einzig zukunftssichere digitale Infrastruktur ist die Glasfaser. Viele Festnetzbetreiber hatten die Sorge, dass der Mobilfunk das leistungsfähige Festnetz substituieren könnte, aber dafür gibt es keinerlei Anzeichen. Der Anteil der „mobile only“-Haushalte in Deutschland beträgt zurzeit nur 3 Prozent. Und in den letzten Jahren nimmt die Zahl der Festnetzanschlüsse sogar wieder zu. Das heißt: Wer heute ein Haus baut oder sich einen neuen Anschluss schalten lässt, verzichtet nicht auf das Festnetz und will nach Möglichkeit eine Glasfaseranbindung. Die BREKO-Unternehmen haben im letzten Jahr knapp eine Million neue direkte Glasfaseranschlüsse bis in die Gebäude (FTTB) und Wohnungen (FTTH) gebaut.

Ein Indikator für die vorhandene Nachfrage nach echten Glasfaseranschlüssen – die lange in der Branche bezweifelt wurde – ist die gestiegene Take-up-Rate: Unsere diesjährige Marktanalyse zeigt, dass in 43 Prozent der Haushalten, die von BREKO-Unternehmen mit Glasfaserkabel erschlossen sind, tatsächlich ein FTTH/B-Anschluss geschaltet wurde. Insofern sind wir in Deutschland gerade dabei, endlich aus dem Markt heraus die Versäumnisse der Vergangenheit aufzuholen, die auch die Politik verursacht hat. Dort wurde lange Zeit auf Kupfer-Übergangstechnologien und nicht auf Glasfaser gesetzt. Die skandinavischen Länder, die Niederlande und auch andere europäische Staaten sind uns deshalb bei der FTTH/B-Abdeckung deutlich voraus.

Positiv hervorzuheben ist, dass die Bundesregierung im aktuellen Koalitionsvertrag endlich ein deutlicheres Bekenntnis zur Glasfaser abgibt: Nicht nur das Gigabitziel wird klar benannt, sondern auch, dass ein Infrastrukturwechsel in Richtung der Glasfaseranbindung aller Gebäude erfolgen soll.

Im Gegensatz dazu hat die Deutsche Telekom argumentiert, dass mit VDSL-Vectoring das Glasfaserkabel zumindest bis zum Kabelverzweiger kommt, und es von dort aus relativ leicht sei, auch die „letzte Meile“ noch mit Glasfaser zu erschließen. Aber das stimmt nicht: Gerade der Ausbau der „letzten Meile“ ist sehr kostenintensiv. Wir haben in Deutschland ca. 40 Millionen Haushalte, aber über die ganze Republik verteilt gibt es gerade einmal 330.000 Kabelverzweiger. Mit deren Erschließung mit Glasfaserkabeln ist also noch nicht viel erreicht, speziell nicht hinsichtlich der Flächenabdeckung. Heutzutage ist es einfach nicht mehr ausreichend zu sagen: „Jetzt gehen wir erst einmal zum

Kabelverzweiger – und dann schauen wir weiter“. Diesen Zwischenschritt hätten wir vielleicht vor 10 bis 15 Jahren gehen können, aber für den Wirtschaftsstandort Deutschland ist er nicht mehr zeitgemäß.

Im Übrigen sind auch die HFC-Netze (Hybrid Fibre Coaxial) der TV-Kabelnetzbetreiber nicht zukunftsfähig, da sie wie die kupferbasierten Anschlüsse nur „bis zu“-Produkte anbieten, bei denen die maximale Bandbreite nur in Ausnahmesituationen erreicht wird.

Regulatorische Fehler der Vergangenheit

Viele Bürgerinnen und Bürger, und erst recht die Unternehmen, lassen sich nicht mehr mit einem VDSL-Vectoring-Anschluss abspeisen. Insofern hat die Bundesnetzagentur dem Land mit ihrer „Vectoring-2-Entscheidung“ einen Bärendienst erwiesen: Dadurch wurde die Deutsche Telekom verpflichtet, sämtliche Hauptverteiler-Nahbereiche mit VDSL-Vectoring auszubauen. In einigen dieser Gebiete liegen jedoch schon FTTH/B-Netze, die deutlich leistungsfähiger sind. Zudem sind in den meisten Gebieten auch HFC-Netze vorhanden. Somit handelt es sich um einen regulatorisch angeordneten Überbau – und überdies mit einer veralteten Technologie.

Demgegenüber fand in den Gebieten, die bisher nicht auf Bandbreiten von mehr als 50 Mbit/s zurückgreifen können, so gut gar keine Kapazitätserweiterung statt. Es wurden also eindeutig die falschen Weichen gesetzt: Im Nachhinein betrachtet war „Vectoring-2“ eine fatale Fehlentscheidung.

Handlungsoptionen

Die Bundes- und Landespolitik muss sich noch klarer darauf fokussieren, dass Glasfaseranschlüsse, die möglichst flächendeckend bis in alle Haushalte reichen, die Infrastruktur-ausstattung der Zukunft sind. Auf dieses Ziel sollte sich die Politik verbindlich festlegen. Auch die 5G-Mobilfunknetze sind nichts anderes als Glasfasernetze mit mobiler Luft-schnittstelle. Auch für die Mobilfunknetze spielt ein flächendeckendes Glasfasernetz daher eine entscheidende Rolle.

Nicht minder wichtig sind die regulatorischen Rahmenbedingungen für den zukünftigen Glasfasermarkt. Der BREKO hat dazu schon vor über einem Jahr konstruktive Vorschläge gemacht, die sich von den bisherigen Spielregeln für den Kupferkabelmarkt grundlegend unterscheiden. Wir befürworten eine Lockerung der Regulierung, insbesondere eine Abkehr von der bislang üblichen ex-ante-Regulierung der Zugangspreise. In der Glasfaser-Welt brauchen wir ganz andere Regulierungsinstrumente: Hier setzen wir auf Open-Access-Geschäftsmodelle und kooperative Ansätze. Das Prinzip sollte lauten: Wer

heute ein Glasfasernetz baut und es diskriminierungsfrei für Wettbewerber öffnet, muss nicht mit nachträglichen Regulierungseingriffen rechnen, selbst wenn er regional marktbeherrschend ist. Dies schafft ein investitionsfreundliches Klima durch klare Spielregeln. Um missbräuchliches Verhalten zu verhindern, sollte die Bundesnetzagentur als Schiedsrichter „auf dem Feld“ bleiben, um bei Bedarf eingreifen zu können. Die große Novelle des Telekommunikationsgesetzes (TKG), die bis Ende 2020 umgesetzt wird, ist deshalb für die nächsten Jahre von herausragender Bedeutung für den Telekommunikationsmarkt. Sollten darin wieder überkommene Regulierungsszenarien fortgeschrieben werden, wird es sehr schwer werden, aus der Rolle als Dritt- oder Viertletzter bei der FTTH/B-Abdeckung in Europa herauszukommen.

Kooperationsmodelle und Zusammenschaltung der Netze

Es wird zukünftig immer häufiger zu Kooperationen kommen. Die meisten Unternehmen, die derzeit mit hohem Investitionsaufwand echte Glasfasernetze bauen, sind regionale Unternehmen mit einer regionalen Marke. Damit stoßen sie irgendwann an Vermarktungsgrenzen, die vielleicht bei 50 oder 60 Prozent der erreichbaren Haushalte liegen. Langfristig ist jedoch eine höhere Auslastung nötig, um die Netze wirklich profitabel zu betreiben und Cashflows für den weiteren Netzausbau zu generieren. Deshalb erkennen immer mehr regionale Unternehmen, dass sie ihre Netze für Dritte öffnen müssen, die als Serviceprovider Dienstleistungen auf ihrer Infrastruktur erbringen. Meiner Ansicht nach müssen wir diesen Prozess weiter forcieren und entsprechende Regulierungsanreize setzen. Zukünftig werden die regionalen Marktmachtverhältnisse immer bedeutender. Aber wer als regionaler Netzbetreiber einen dominierenden Marktanteil hat, sollte keine Gefahr laufen, reguliert zu werden, wenn er sein Netz öffnet und Diensteanbietern diskriminierungsfrei Vorleistungsprodukte auf Bitstrom-Basis zur Verfügung stellt, damit diese ihre Produkte auf seinem Netz vermarkten können. Das ist eine Regulierungspolitik, die uns voranbringt: Sie reduziert den strategisch destruktiven Überbau und fördert Netzinvestitionen im kooperativen Ansatz.

Die Zusammenschaltung unterschiedlicher Netze ist nicht länger eine Vision, sondern wird bereits in die Tat umgesetzt. Die regionalen Glasfasernetze, die kleine Betreiber heute bauen, haben gemeinsame Elemente, mit denen sie verbunden werden können – so entsteht ein flächendeckendes Puzzle, nicht der befürchtete „Flickenteppich“. Netzzusammenschaltungen sind heute State-of-the-Art. Für die Telekommunikationsunternehmen wird dies durch eine Handelsplattform erleichtert, die wir 2017 ins Leben gerufen haben. Über gemeinsame Schnittstellen wie WBCI (WITA Based Carrier Interface) und andere setzen wir Standards im Markt und mit Layer-2-Bitstrom steht ein standardisiertes Vorleistungsprodukt zur Verfügung, um die Netze zu öffnen und miteinander zu verbinden.

Auch die Infrastrukturen der TV-Kabelnetzbetreiber könnten prinzipiell in den Netzverbund integriert werden. Die technologischen Möglichkeiten sind da. Aber nicht der Wille der beteiligten Unternehmen; diese haben sich bislang klar verweigert. Nur deshalb gibt es kein Open-Access-Projekt mit Unitymedia oder Vodafone. Ob sich an dieser Strategie nach der Übernahme von Unitymedia durch Vodafone etwas ändern wird, bleibt abzuwarten.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Stephan Albers.

Stephan Albers ist Geschäftsführer des Bundesverbands Breitbandkommunikation (BREKO).

3.3.2 RECHENZENTREN

Neben leistungsfähigen Breitbandnetzen bilden vor allem Rechenzentren und Internetknoten die infrastrukturelle Voraussetzung für die digitale Transformation. Der Bedarf an Datenübertragung, Datenspeicherung und Datenverarbeitung steigt exponentiell an. Dabei kann die Datensicherheit am besten im Inland gewährleistet werden. Folglich ist eine leistungsfähige Rechenzentrumsinfrastruktur ein wichtiger Standortfaktor.

In Bezug auf Rechenzentren und Internetknoten steht Deutschland aktuell im internationalen Wettbewerb deutlich besser da als bei der Glasfaseranbindung. Der Internetknoten DE-CIX ist hinsichtlich des Datenverkehrs der größte der Welt. Im September 2019 wurde eine Übertragungsrate von 7,1 Tbit/s erreicht.⁶⁴ Seit 2014 hat sich der Datendurchsatz mehr als verdoppelt.

Auch die Datacenter-Kapazitäten wurden in den letzten Jahren deutlich ausgebaut. Rechenzentren ermöglichen neue digitale Geschäftsmodelle, entweder als unternehmensinterne Einrichtungen, als externer Dienstleister von „Managed Services“ oder als Anbieter von Dienstleistungen wie Colocation-, Hosting- oder Cloud-Diensten. Im Jahr 2018 nutzten laut einer Umfrage fast 37 Prozent der mittelständischen und großen Unternehmen in Deutschland eine private Cloudlösung im eigenen Rechenzentrum.⁶⁵ Etwa 41 Prozent hatten die eigene Infrastruktur an einen Managed Service oder an einen Outsourcing Provider ausgelagert (siehe Abbildung 11 auf der nächsten Seite). Es zeichnet sich eine Tendenz zu Colocation-Lösungen sowie zu hybriden Cloudnutzungen ab.⁶⁶ Gerade Hyperscaler, die bislang nicht in Deutschland angesiedelt werden, könnten in Zukunft als Cloud-Provider für die Industrie weiter an Bedeutung gewinnen.⁶⁷

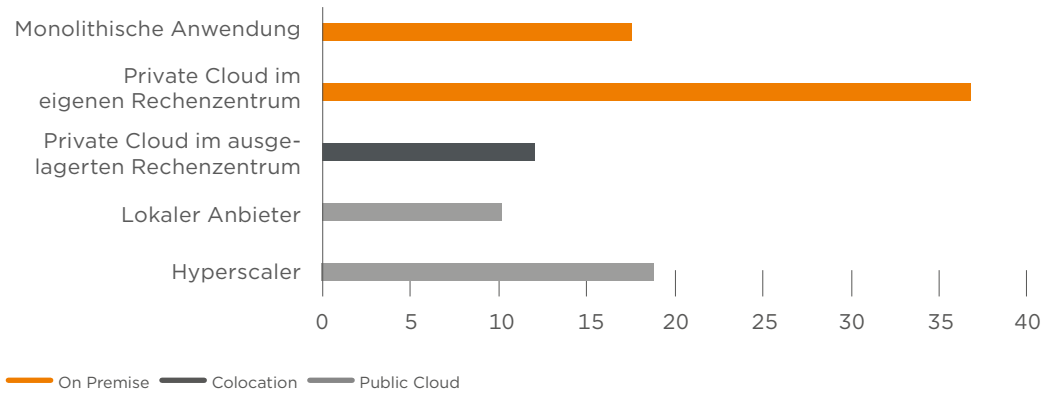
⁶⁴ Vgl. Lück / Donner (2019).

⁶⁵ Vgl. Interxion (2018).

⁶⁶ Vgl. Hintemann / Clausen (2018).

⁶⁷ Vgl. Interxion (2018).

Abbildung 11: Datenspeicherung und -verarbeitung in Deutschland 2018, in Prozent



Quelle: Interxion

Aktuell sind Rechenzentren vor allem in Ballungsräumen und Metropolregionen angesiedelt, wo Daten zusammenlaufen und zentral verarbeitet werden. Da viele innovative Anwendungen des „Internets der Dinge“ eine möglichst schnelle und effiziente Weiterverarbeitung von Echtzeitdaten erfordern, wird künftig voraussichtlich eine stärkere Dezentralisierung der Datenverarbeitung im Rahmen des „Edgecomputing“ stattfinden.

Der Standort Deutschland bietet für den Betrieb von Rechenzentren Vorteile, ist jedoch auch mit Nachteilen verbunden:⁶⁸ Positiv werden die Stromversorgungssicherheit, die Anbindung an Internetknoten sowie der Datenschutz und die Datensicherheit bewertet. Kritisch sieht die Branche den Fachkräftemangel, die hohen Strompreise sowie die lange Dauer von Genehmigungsverfahren. Aktuell unternehmen andere Staaten große Anstrengungen, ihre Wettbewerbsposition auf dem Zukunftsmarkt für Rechenzentren zu stärken: Nicht nur die chinesische Regierung setzt auf den Ausbau digitaler Infrastrukturen, auch skandinavische Länder wie Schweden und Norwegen werben mit niedrigen Strompreisen.

⁶⁸ Vgl. Hintemann / Clausen (2018).



Harald A. Summa (eco)

Handlungsbedarf

Die größte Baustelle liegt in der Unkenntnis der Beteiligten: Die Politik versteht oft viel zu wenig vom Geschäft, um sinnvoll eingreifen zu können. Es ist nämlich nicht so einfach zu begreifen, wie digitale Infrastrukturen in ihrer Gänze zusammenhängen. Wenn öffentlich über Digitalisierung gesprochen wird, dreht sich die Diskussion deshalb meistens nur um den Breitbandausbau im Fest- und Mobilfunk. Aber das ist ungefähr so, als würden wir uns über die Stromkabel in einem Haus unterhalten. Die digitale Infrastruktur setzt sich jedoch aus drei Komponenten zusammen: Konnektivität, Interkonnektivität und Datacenter. Diese sind letztlich die Orte, an denen die Inhalte sowie die Datenverarbeitungskapazität „beheimatet“ sind – und das hat die Politik nicht auf dem Schirm.

Jedes Datacenter muss in der Lage sein, mit jedem anderen Datacenter zu kommunizieren. Was viele nicht mehr wissen: Diese Interkonnektivität ist das Grundprinzip des Internets. Das Internet besteht nicht aus einem Netzwerk, sondern aus vielen Netzwerken. Überall auf der Welt gibt es Austauschpunkte. Und jeder Kommunikationsnetzbetreiber hat entweder eine direkte Verbindung zu einem solchen Internetknoten, oder er gibt seine Datenpakete im sogenannten „Transitverkehr“ an einen Mittelsmann, der über eine entsprechende Verbindung verfügt. Der Breitbandausbau ist auf Internetknoten angewiesen, denn es ist nicht damit getan, Funkmaste aufzustellen und Glasfaserkabel physisch in die Erde zu buddeln. Um Datenverkehr auf das Netz zu bekommen, ist die Anbindung an einen Austauschpunkt ist vonnöten.

Die politische Diskussion droht ins Leere zu laufen: Man redet über Digitalisierung durch Breitbandausbau und versteht nicht den Kern der Sache. Wenn wir wirklich eine Digitalpolitik machen wollen, brauchen wir natürlich die Breitbandnetze, aber wir brauchen auch die Rechenzentren und die Austauschpunkte.

Es herrscht ein hohes Bildungsdefizit und ein großer Mangel an Fachkräften. Viel zu wenig Hochschulen vermitteln Kenntnisse über die Architektur des Internet. Es muss mehr in Forschung und Lehre investiert werden. Zudem muss es mehr berufliche Weiterbildung geben. Betreiber von Datacentern finden derzeit kaum deutsche Bewerber, die für die offenen Stellen qualifiziert sind.

Zukunft der digitalen Infrastruktur

Die Zukunft liegt nicht in der Stärke einzelner großer Player oder „nationaler Champions“, sondern in der Dezentralität der digitalen Infrastruktur. Im Mobilfunk sind wir jetzt bei vier Anbietern, aber das Internet in Deutschland besteht aus rund 250 Anbietern.

Zukünftige Anwendungen stellen neue Anforderungen an die digitale Infrastruktur. Beispielsweise das (teil-)autonome Fahren: Fahrzeuge brauchen Informationen aus ihrer Umgebung, über vorausfahrende oder neben ihnen fahrende Autos, auch über solche, die schon vor einer halben Stunde vorbeigefahren sind. Die Datenverarbeitung muss lokal stattfinden, um unmittelbar, ohne große Latenz Handlungsempfehlungen zu erarbeiten. Diese Dezentralität der Datenspeicherung und -verarbeitung ist das Prinzip des Edgecomputing.

Die Aufteilung zwischen Edge und Core hat heute noch viel mit der Geografie zu tun. Die Core-Sites dieser Welt befinden sich bislang in den Metropolen: Frankfurt, London, Amsterdam, Mailand, Madrid. Aber gerade hier wird man keine Verdopplung der Datacenter-Fläche mehr hinbekommen, um den zukünftigen Bedarf an Datenspeicherungs- und Datenverarbeitungskapazität abzudecken. Der Markt sucht sich Ventile: Dies sieht man derzeit daran, dass die Rechenzentren in den Edge gehen, also weg von den Metropolen. Man könnte sich durchaus vorstellen, eine Core-Site auf der „flachen Wiese“ zu planen, beispielsweise in einem ehemaligen Braunkohleabbau-Gebiet. Alles was man benötigt, sind ein paar Meter Glasfaser, etwas Strom, etwas Kühlung und keine Nachbarschaft, die sich über surrende und dampfende Kühlaggregate beschwert. Wir haben beispielsweise in Deutschland keine Compute-Cloud. Jedoch steht im Forschungszentrum Jülich einer der größten Supercomputer der Welt. Denkbar wäre dort der Aufbau eines großen Datacenters mit einem oder zwei weiteren Supercomputern, denen man die anfallenden Datenberge zur Auswertung gibt. Und warum sollte man nicht auch die ersten Quantencomputer dort hinstellen?

Man könnte die Ansiedlung großer Datacenter als strukturpolitische Maßnahme für wirtschaftlich abgeschlagene Regionen begreifen. Allerdings wird damit das Beschäftigungsproblem in diesen Regionen nicht unmittelbar gelöst, denn der Betrieb von Datacentern benötigt nur wenige Fachkräfte. Jedoch kann man den neuen Standort auch mit Forschung, Entwicklung und Lehre verbinden und damit gleichzeitig dem Fachkräftemangel begegnen.

Ein immer wichtigeres Thema ist die Datensicherheit. Weil das Internet so verteilt ist, ist als Gesamtsystem widerstandsfähiger gegen den Ausfall einzelner Teile. Aber diese Verteilung führt auch dazu, dass der Datentransfer an vielen Stellen angreifbar wird. Diese Bedrohung lässt sich in Zukunft durch die Rückbesinnung auf alte Übertragungskonzepte reduzieren, die noch aus der Zeit vor dem Internet stammen. Wir erleben heute auf dem Telekommunikationsmarkt einen Wandel der Netzarchitektur: Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, wie sie früher physisch hergestellt wurden, um unterschiedliche Teilnehmer direkt miteinander zu verbinden, erfolgen heutzutage software-defined. Auf diese Weise können Daten auf direktem Wege ausgetauscht werden. Dies ist ein großer Unterschied zum traditionellen Prinzip des Internets, das eher einer „black box“ oder einer Wolke entspricht: An einem Punkt werden Daten eingespeist, an einem anderen werden sie entnommen, aber was in der Mitte passiert, ist diffus und damit potenziell durch Sicherheitsrisiken bedroht.

Insbesondere für industrielle Anwender geht der Entwicklungstrend deshalb wieder zurück zu Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. In zehn Jahren werden Firmen und ihre Zulieferer voraussichtlich dezidierte Leitungen zu einem bestimmten Internetknoten haben und auf diese Weise effizient miteinander kommunizieren – und wesentlich sicherer, als dies über das verstreute Internet möglich ist. Solange es darum geht, ein Video herunterzuladen, das nicht ruckeln darf, kann man alles über das Internet abwickeln. Aber wenn man eine sichere Verbindung benötigt, kommt man nicht an einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung vorbei.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Harald A. Summa.

Harald A. Summa ist Hauptgeschäftsführer des eco – Verband der Internetwirtschaft e. V.

3.4 AUSBAUPLÄNE

3.4.1 VERKEHRSINFRASTRUKTUR

Der Ausbau von Straße, Schiene und Binnenwasserstraßen wird im Bundesverkehrswegeplan geregelt. Hier plant die Bundesregierung jeweils für 15 Jahre die Investitionen und Projekte. Der Plan, der die prioritären Projekte festlegt, wird in einem langwierigen



Abstimmungsprozess zwischen Bund und Ländern entwickelt. Die Bundesländer melden dabei ihre Projekte für die verschiedenen Verkehrsträger an, Verbände und Bürger werden ebenfalls in dem Verfahren gehört. Priorität haben die Projekte, die dem Erhalt und Ersatz der Bestandsnetze dienen, dann folgen Aus- und Neubauprojekte. Alle Projekte, die in die engere Auswahl kommen, werden mit einem viergliedrigen System bewertet, in dessen Zentrum eine Kosten-Nutzen-Analyse steht. Wesentliches Kriterium für die Nutzenbewertung ist die Zeiteinsparung, die aus den Projekten für die Verkehrsteilnehmer resultiert.

Der aktuelle Bundesverkehrswegeplan für die Jahre 2016 bis 2030 umfasst rund 1.000 Infrastrukturprojekte mit einem Gesamtvolumen von 269,6 Milliarden Euro, 96,4 Milliarden Euro mehr als im vorherigen Bundesverkehrswegeplan (siehe Abbildung 12). Die geplanten Investitionsmittel verteilen sich auf die Verkehrsträger wie folgt: 132,8 Milliarden für Bundesfernstraßen, 112,3 Milliarden für Schienenwege und 24,5 Milliarden für Bundeswasserstraßen. Ziel ist vor allem der Erhalt der Infrastruktur und der Abbau von Engpässen auf den Hauptverkehrsachsen. Insgesamt fließen bis zum Jahr 2030 rund 141,6 Milliarden Euro in den Erhalt der Bestandsnetze und 98,3 Milliarden Euro in Aus- und Neubauprojekte. Damit sollen rund 1.700 Kilometer Engpassstrecken auf Autobahnen und 700 Kilometer Engpassstrecken im Schienennetz beseitigt werden.

Abbildung 12: Bundesverkehrswegeplan 2030 vs. 2003

	2003	2030
Gesamtvolumen	173,2 Mrd. Euro	269,6 Mrd. Euro
davon:		
Fernstraßen	89,2 Mrd. Euro	132,8 Mrd. Euro
Schienen	72,3 Mrd. Euro	112,3 Mrd. Euro
Wasserwege	11,7 Mrd. Euro	24,5 Mrd. Euro
Neu/Ausbau	44 %	31 %
Erhalt/Ersatz	56 %	69 %

Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Das Umweltbundesamt, Umweltorganisationen und Klimaschützer werfen der Bundesregierung jedoch vor, in der dahinterstehenden Kosten-Nutzen-Analyse die Folgekosten für die Umwelt zu gering zu bewerten. Das Umweltbundesamt fordert beispielsweise, dass 60 Prozent der Investitionen in Schienenprojekte fließen sollten und nicht nur 42 Prozent wie geplant.

Der Geschäftsführer der Allianz pro Schiene, Dirk Flege, fordert für die künftige Wegeplanung neue Bewertungskriterien, die die Anforderungen des Schienennetzes besser erfassen. So könne bei einer Umgehungsstraße beispielsweise sehr genau erfasst werden, wieviel Zeitersparnis sie den Autofahrern bringe, womit sich ein Nutzen monetarisieren lasse. Wenn dagegen eine Ausweichstrecke für die Bahn elektrifiziert werden soll, lasse sich der Nutzen in dem bisherigen System nicht darstellen.

Mit dem Bundesverkehrswegeplan sind allerdings noch andere Probleme verbunden, wie eine Studie ermittelt, die einzelne Projekte betrachtet. Wenn man die Kosten –, wie absehbare Baukostensteigerungen – und die Mittelverfügbarkeit abgleicht, sei er mehrfach überzeichnet. Die prioritären Infrastrukturprojekte legt der Plan zwar fest, die Finanzierung dieser Projekte, der Verkehrsetat, muss dafür aber jedes Jahr wieder in der üblichen Haushaltsrunde festgelegt werden. Das war in den vergangenen Jahren mit Etatüberschüssen wenig problematisch, könnte sich aber bei stärker einbrechender Konjunktur schwieriger gestalten.

Des Weiteren sind bei vielen Projekten durch Einwände von Betroffenen Umplanungen und Mehrkosten erforderlich, die wiederum neue Abstimmungsprozesse nach sich ziehen und das Projekt damit verzögern und verteuern.

3.4.2 DIGITALE INFRASTRUKTUR

Für die digitale Infrastruktur gibt es kaum konkrete Ausbaupläne, da die Politik aufgrund der privatwirtschaftlichen Struktur des Marktes nur Zielvorstellungen formulieren kann. Diese haben jedoch einen indirekten Effekt auf das Investitionsverhalten der Unternehmen sowie auf die Regulierungsentscheidungen der Bundesnetzagentur. So geben beispielsweise die Mobilfunknetzbetreiber bei der Frequenzvergabe verbindliche Versorgungszusagen, die als Mindestvorgaben für den Netzausbau aufgefasst werden können.

Als Orientierungspunkt für die Marktentwicklung hat sich die Bundesregierung ein allgemeines Breitbandziel gesetzt. Dieses war jedoch in der vergangenen Legislaturperiode eher kurzfristig angelegt und nur wenig ambitioniert: Bis 2018 sollte eine flächendeckende Versorgung der Bevölkerung mit Bandbreiten von mindestens 50 Mbit/s erreicht werden. Obwohl die Absichtserklärung mit Blick auf die zukünftigen Bedarfe allenfalls als Zwischenschritt verstanden werden konnte, wurde sie deutlich verfehlt. Zum Jahresende hatten nur 87,8 Prozent der Bevölkerung einen Zugriff auf Anschlüsse mit bis zu 50 Mbit/s.⁶⁹ Das im Koalitionsvertrag vom März 2018 ausgegebene Breitbandziel ist deutlich anspruchsvoller: Bis 2025 soll nunmehr ganz Deutschland – auch die ländlichen und dünn besiedelten Gebiete – mit gigabitfähigen Netzen versorgt werden.⁷⁰

Im Festnetz tätigen bislang kleinere Anbieter neben den großen Telekommunikationsunternehmen einen Großteil der Investitionen in FTTH/B-Anschlüsse.⁷¹ Dabei handelt es sich zumeist um kommunale Netzbetreiber, die aus den Stadtwerken hervorgegangen sind. Aber auch überregionale Unternehmen engagieren sich im Glasfaserausbau in ländlichen Regionen, sofern es entsprechende Zusagen über die Vermarktungsquoten gibt. Die Deutsche Telekom hat angekündigt, ab 2020 ebenfalls beim Netzausbau von der VDSL- vollständig auf die FTTB/H-Technologie umzusteigen. Im Rahmen der sogenannten „Vectoring-2-Entscheidung“ der Bundesnetzagentur bestand für die Deutsche Telekom bislang nur die Verpflichtung, sämtliche der etwa 8.000 Hauptverteiler in Deutschland mit VDSL-Vectoring zu erschließen.⁷²

Das BMVI will Deutschland als Leitmarkt für 5G etablieren.⁷³ Nach den ursprünglichen Zielvorstellungen sollen bis spätestens 2025 alle Hauptverkehrswege und Bahntrassen sowie mindestens die 20 größten Städte Deutschlands mit 5G-Konnektivität ausgestattet sein.⁷⁴ Die Versorgungsaufgaben, welche die Bundesnetzagentur an die Vergabe der Nutzungsrechte geknüpft hat, sind weitgehend offen in Bezug auf den eingesetzten Mobilfunkstandard: Die drei etablierten Mobilfunknetzbetreiber müssen demnach unter anderem bis 2022 mindestens 98 Prozent der Haushalte je Bundesland, sämtliche Bundesautobahnen, die wichtigsten Bundesstraßen sowie die wichtigsten Schienenwege

69 Vgl. BMVI / atene KOM (2019).

70 Vgl. Bundesregierung (2018).

71 Vgl. BREKO (2019).

72 Vgl. Bundesnetzagentur (2016).

73 Vgl. BMVI (2019).

74 Vgl. BMVI (2016).

mit mindestens 100 Mbit/s versorgen.⁷⁵ Diese Bandbreitenvorgabe lässt sich prinzipiell auch mit dem Vorgängerstandard LTE erreichen. Um die sogenannten „weißen Flecken“ auszufüllen, die bisher überhaupt nicht über Mobilfunk erreicht werden können, sind zudem bis Ende 2022 jeweils 500 Basisstationen im 2-GHz-Bereich erforderlich. Konkret auf den Ausbau der 5G-Technologie zielt allein die Verpflichtung, dass die Lizenzinhaber bis Ende 2022 jeweils mindestens 1.000 „echte“ 5G-Basisstationen im Frequenzbereich von 3,6 GHz zu errichten haben.

Im Gegensatz zu den Telekommunikations- und TV-Kabel-Netzen werden Rechenzentren und Internetknoten durch eine Vielzahl von Anbietern betrieben und stehen bislang nicht im Fokus des politischen Interesses. Somit sind keine allgemeinen Aussagen über den geplanten Ausbau der Datacenter-Kapazität in Deutschland möglich.

3.5 AKTUELLE FINANZIERUNG

3.5.1 VERKEHRSINFRASTRUKTUR

Da sich die Verkehrsinfrastruktur fast vollständig in staatlichem Besitz befindet, ist es die Aufgabe des Staates, abgesehen von einigen ÖPP-Projekten (siehe Kapitel 3.1), die notwendige Finanzierung für den Erhalt sowie Neu- und Ausbau des Verkehrsnetzes bereitzustellen. Die Bruttoanlageinvestitionen dafür wiesen in den letzten Jahren dabei jeweils eine Größenordnung von etwa 16 Milliarden Euro auf (siehe Abbildung 13 auf der nächsten Seite). Während ein Großteil davon aus dem öffentlichen Haushalt stammt, gibt es allerdings zusätzlich Einnahmen aus einer LKW-Maut. Deutschland hat den Wandel von einer reinen Steuerfinanzierung zu einem Mischsystem aus Steuer- und Nutzerfinanzierung im Jahr 2005 vollzogen. Die Maut ist eine streckenbezogene Straßennutzungsgebühr für Nutzfahrzeuge mit 7,5 Tonnen und mehr zulässigem Gesamtgewicht. Mautpflichtig sind alle Bundesautobahnen und -straßen. Die Einnahmen der LKW-Maut werden – nach Abzug der Kosten für Erhebung, Kontrolle und Mautharmonisierung – für den Erhalt und den Ausbau des Verkehrsnetzes verwendet. Im Jahr 2018 betrugen die Einnahmen ungefähr 5,1 Milliarden Euro. Damit stellt die LKW-Maut mittlerweile einen wesentlichen Bestandteil der Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur dar.⁷⁶

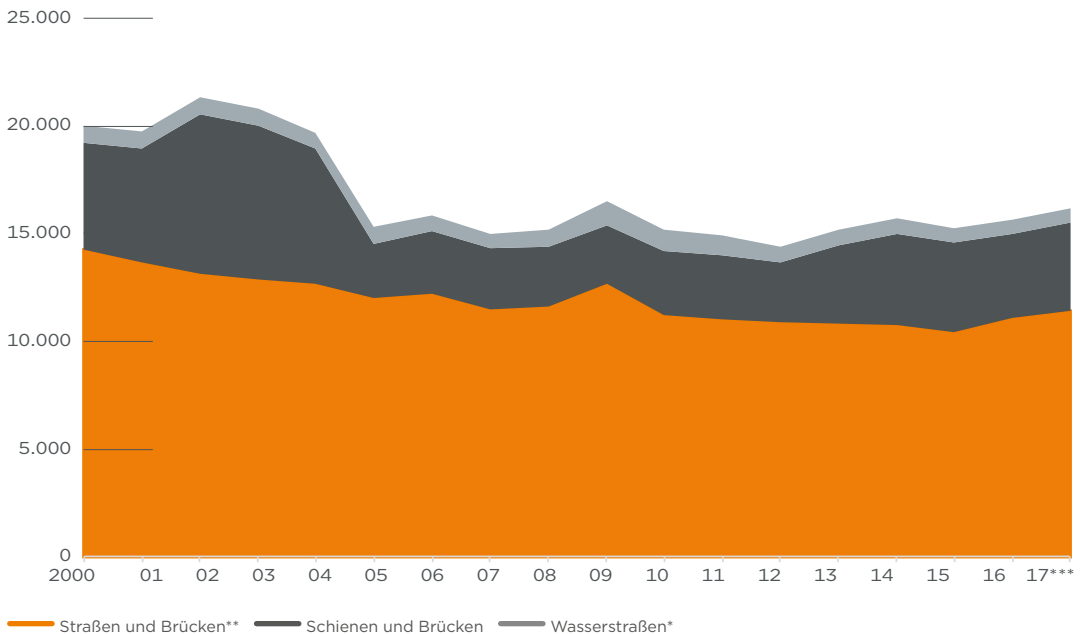
Die Investitionen des Staates umfassen ebenso das Schienennetz, wenn dies auch eigentlich im Eigentum der DB Netz AG ist, ein Unternehmen in privater Rechtsform, das zu 100 Prozent dem Staat gehört. Dennoch erfolgt ein Großteil der Investitionen

⁷⁵ Für den Newcomer United Internet gelten reduzierte Anforderungen.

⁷⁶ Vgl. Schulz (2018).

direkt aus dem Staatshaushalt. So werden die Aus- und Neubauprojekte im Bereich Schiene durch den Bundesverkehrswegeplan geregelt. Für den Erhalt des Schienennetzes ist in erster Linie die Deutsche Bahn AG verantwortlich, bekommt dazu aber eine finanzielle Unterstützung vom Staat. Dies ist in der Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung (LuFV) geregelt. Im Jahr 2020 beginnt eine neue Periode bei der Vereinbarung, die bis 2029 läuft. In diesem Zeitraum werden für den Erhalt des Schienennetzes 86,2 Milliarden Euro zur Verfügung stehen, wobei der Bund davon 62 Milliarden Euro übernimmt. Den Rest steuert die Deutsche Bahn AG bei.

Abbildung 13: Bruttoanlageinvestitionen – Verkehrsinfrastruktur
In Millionen Euro (Preise von 2010)



* Bis zur Seegrenze; ** Ohne Verwaltung; *** Zum Teil vorläufige Werte
Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

3.5.2 PRIVATWIRTSCHAFTLICHE FINANZIERUNG DER DIGITALEN INFRASTRUKTUR: DAS PRINZIP DES „INFRASTRUKTURWETTBEWERBS“

Rechenzentren und Internetknoten werden seit jeher privat betrieben und finanziert. Da sie keiner staatlichen Regulierung unterliegen, sind keine offiziellen Daten über das Investitionsvolumen verfügbar. Laut einer Schätzung des Branchenverbandes eco werden in Deutschland jährlich mehr als 8 Milliarden Euro für den Bau, die Modernisierung und die IT von Rechenzentren ausgegeben.⁷⁷ Im Jahr 2017 entfielen beispielsweise über 7 Milliarden Euro auf die IT-Hardware, hinzu kamen rund eine Milliarde Euro für den Neubau und die Modernisierung der technischen Gebäudeausstattung von Rechenzentren. Die Investitionskosten sind seit 2014 um etwa 10 Prozent jährlich angestiegen.⁷⁸

Auch auf dem deutschen Telekommunikationsmarkt herrscht seit der Marktliberalisierung 1998 das Prinzip des Infrastrukturwettbewerbs: Netzbetreiber konkurrieren nicht nur um Endkunden durch ihr Leistungsangebot, sondern auch um die Anbindung von Anschlüssen an ihre eigenen Netze. Somit erfolgen Investitionen in die Breitbandinfrastruktur vorwiegend nach dem Kriterium der Eigenwirtschaftlichkeit. Dabei ist zu beachten, dass viele regionale Festnetzbetreiber aus Stadtwerken hervorgegangen sind und sich somit in kommunaler Hand befinden. Sie weisen ein deutlich anderes Investitionskalkül auf als die börsennotierten überregionalen Netzbetreiber. Zudem hat der Bund zur Erreichung der Breitbandziele staatliche Förderprogramme aufgelegt (siehe Kapitel 3.5.3).

Im Jahr 2018 haben sich die Sachinvestitionen auf dem deutschen Telekommunikationsmarkt voraussichtlich auf 9,0 Milliarden Euro erhöht.⁷⁹ Dies entsprach einem Zuwachs gegenüber dem Vorjahr um 5,9 Prozent (siehe Abbildung 14 auf der nächsten Seite). Insbesondere die Wettbewerber der Deutschen Telekom haben ihr Investitionsvolumen kräftig um 9,5 Prozent erhöht. Sie erreichten 2018 einen Anteil von über 51 Prozent an den Gesamtinvestitionen, von denen etwa zwei Drittel auf die Errichtung neuer Breitbandnetzinfrastrukturen entfallen. Im Festnetz betraf dies hauptsächlich den Glasfaserausbau, die Aufrüstung der Kabelnetze sowie die Umstellung auf IP-basierte Netze. Im Mobilfunk lag der Schwerpunkt auf dem Ausbau der LTE-Netze.

Dass die Deutsche Telekom ihre Wettbewerber hinsichtlich des Investitionsvolumens 2016 und 2017 übertroffen hat, ist unter anderem auf den massiven Ausbau von VDSL-Vectoring zurückzuführen.⁸⁰ Das Unternehmen hatte sich im Rahmen der sogenannten „Vectoring-II-Entscheidung“ der Bundesnetzagentur verpflichtet, alle Hauptverteiler bundesweit mit VDSL-Vectoring zu erschließen.⁸¹

77 Vgl. Waldhauser (2019); vgl. Hintemann / Beucker / Hinterholzer (2018).

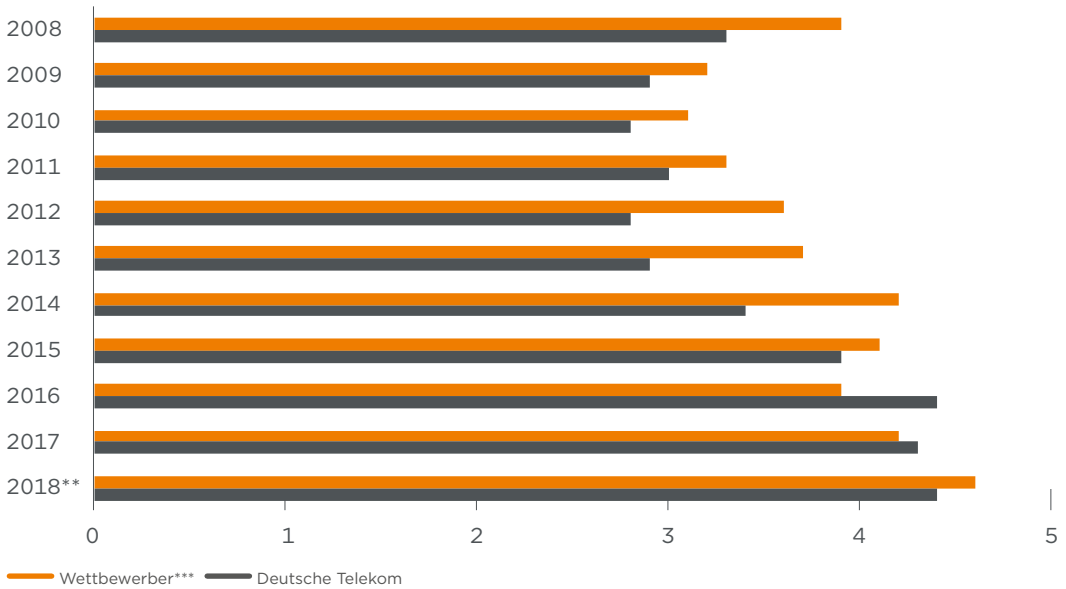
78 Vgl. Hintemann / Beucker / Hinterholzer (2018).

79 Vgl. Bundesnetzagentur (2019).

80 Vgl. BREKO (2019).

81 Vgl. Bundesnetzagentur (2016).

Abbildung 14: Investitionen auf dem deutschen Telekommunikationsmarkt*
In Milliarden Euro



* Ausbau und Instandhaltung der Netzinfrastruktur sowie sonstige Investitionen (Rechenzentren, Endgeräte usw.)

** Prognose; *** Inklusive TV-Kabelnetzbetreiber

Quelle: Bundesnetzagentur (2019)

Investitionen in die Glasfaserinfrastruktur gehen mit hohen Fixkosten einher und lohnen sich somit nur, wenn der Kostenblock auf eine große Anzahl potenzieller Nutzer umgelegt werden kann. Insbesondere der Ausbau der „letzten Meile“ zwischen Kabelverzweiger (KVZ) und Hausübergabepunkt ist kostspielig. In dünn besiedelten Gebieten ist deshalb ein eigenwirtschaftlicher Glasfaserausbau kaum möglich. Zwischen 80 und 90 Prozent der Gesamtkosten des Glasfaserausbaus entfallen auf Tiefbauarbeiten.⁸²

3.5.3 STAATLICHE FÖRDERUNG DES BREITBANDBAUS

Auch wenn der Breitbandausbau in Deutschland eine Aufgabe privatwirtschaftlicher Unternehmen ist, ist eine öffentliche Förderung des Breitbandausbaus wichtig, um den Wirtschaftsstandort Deutschland im internationalen Wettbewerb attraktiv zu halten und gleichwertige Lebensverhältnisse zwischen Stadt und Land herzustellen.

⁸² Vgl. Wernick (2016).



Die Rentabilität von Breitbandinvestitionen wird vor allem durch die Bevölkerungsdichte innerhalb eines bestimmten Ausbaubereiches sowie die erwartete Zahlungsbereitschaft der ortsansässigen Haushalte und Unternehmen bestimmt. Damit ergeben sich besonders in ärmeren Regionen, auf dem dünn besiedelten Land sowie überall dort, wo bereits vergleichsweise günstigere Substitute existieren, wie beispielsweise VDSL-Vectoring, Hindernisse für den privaten FTTH/B-Ausbau. Es droht die Gefahr einer „Digital Divide“ zwischen Stadt und Land.

Zur Anregung der Investitionsanreize der Netzbetreiber wurden verschiedene staatliche Fördermaßnahmen aufgelegt, die sowohl direkte Subventionen als auch indirekte Investitionserleichterungen im Rahmen des „Gesetzes zur Erleichterung des Ausbaus digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze“ (DigiNetzG) enthalten. Allerdings sind die Genehmigungsverfahren für den Ausbau von Glasfaserleitungen oder Mobilfunkstandorten immer noch sehr langwierig.

Das Ziel des DigiNetzG ist es, Synergien bei Tiefbauprojekten zu nutzen und insbesondere eine teure Duplizierung der Ausbauarbeiten zu vermeiden. So müssen beispielsweise bei der Sanierung von Straßen oder der Erschließung von Neubaugebieten Glasfaserkabel mitverlegt werden. Auch bestehende Infrastrukturen wie Energie- und Abwassernetze können von den Telekommunikationsunternehmen für den Breitbandausbau mitgenutzt werden.

Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung sind Pläne für die Subventionierung des Breitbandausbaus enthalten.⁸³ Mit dem Förderprogramm sollen 12 Milliarden Euro ausgeschüttet werden, jedoch ist die Ausgestaltung noch ungewiss. Die 5G-Initiative des BMVI sieht vor, dass der Aufbau von Mobilfunkzellen so weit wie möglich durch Einbeziehung öffentlicher Liegenschaften und bestehender kommunaler Trägerstrukturen wie Dächer, Ampeln und Straßenlampen erfolgen soll.⁸⁴ Aber selbstverständlich werden die klassischen Verfahren der Standortwahl weiterhin die Hauptrolle spielen.

83 Vgl. Bundesregierung (2018).

84 Vgl. BMVI (2019).



Dr. Iris Henseler-Unger (WIK)

Zustand der Breitbandinfrastruktur in Deutschland

Die Infrastruktur, wie sie heute besteht, stößt zunehmend an ihre Grenzen. Wir müssen jetzt in die Zukunft investieren. Die Ansprüche der Unternehmen und Bürger wachsen. Gerade im Unternehmenssektor herrscht ein starkes Bewusstsein, dass man zukünftig größere Bandbreiten und eine bessere Mobilfunkabdeckung benötigt. Breitbandinfrastrukturen sind die Voraussetzung für innovative Dienstleistungen wie beispielsweise Big Data, künstliche Intelligenz, Industrie 4.0, e-Health oder Smart City. Diese innovativen Dienstleistungen werden den gesellschaftlichen Mehrwert des Breitbandausbaus bringen. Deshalb ist es so wichtig, dass wir heute investieren, um die Vorteile und Chancen der Digitalisierung vollständig auszuschöpfen.

Aktuelle Nachfrage nach Glasfaseranschlüssen

Es ist ein Märchen, dass aktuell noch keine hinreichende Nachfrage nach Glasfaseranschlüssen besteht. So hat eine Untersuchung des WIK gezeigt, dass Unternehmen, die in Glasfaserinfrastruktur investiert haben, zum Teil Take-up-Raten von über 50 Prozent erzielen. Das bedeutet, dass bei einzelnen Ausbauprojekten mehr als 50 Prozent der Haushalte, die die Glasfaser nutzen können, tatsächlich einen Vertrag geschlossen haben. Dies liegt natürlich weit über dem Bundesdurchschnitt und zeigt, dass man geschickt vermarkten, auf die Kunden zugehen und sicherlich auch Zusatzprodukte anbieten muss – und dann sehr wohl auf eine Nachfrage stößt. Dabei weisen die Wettbewerber der Deutschen Telekom einen deutlich höheren Vermarktungserfolg auf: Sie haben eine durchschnittliche Take-up-Rate von knapp 40 Prozent, während die Deutsche Telekom bei ihren vergleichsweise wenigen Anschlüssen noch nicht einmal auf 20 Prozent kommt.

In den Glasfaserausbau investieren Kommunalunternehmen, überregional tätige Unternehmen wie die Deutsche Glasfaser oder Inexio, aber auch viele Privatunternehmen vor Ort. Diese haben bei Ausbauprojekten sicherlich einen Investitionsvorteil, da sie langfristiger kalkulieren als die Deutsche Telekom. Aber sie haben auch den Vorteil, dass sie bürgernäher sind. Sie können ihre Produkte sozusagen als das „Unternehmen der Bürger“ anbieten. Und sie vermarkten ihre Anschlüsse sehr viel aktiver als die Deutsche Telekom.

Was zu tun ist

Der Aufbau einer zukunftsfähigen Breitbandinfrastruktur kann sicherlich in vielen Bereichen aus der Wirtschaft heraus ohne staatliche Eingriffe erfolgen. Es zeigt sich ja, dass es durchaus kommerzielle Projekte gibt. Es zeigt sich allerdings auch, dass man einen langen Atem benötigt. Beispielsweise hat Schweden bereits im Jahr 2000 angefangen, sich für die Glasfaser einzusetzen, und dieses Engagement über die Zeit hinweg konsequent aufrechterhalten. Aktuell erreicht Schweden eine Glasfaser-Abdeckung von über 90 Prozent.

Daraus folgt: Was die Bundesregierung jetzt macht – ein Problem feststellen, dann ganz viel Geld in den Markt drücken –, wird so nicht funktionieren, einfach, weil der Glasfaserausbau Zeit benötigt. Zielführend ist, dass sich die Bundesregierung endlich klar zu Gigabit-Netzen bekannt hat. Das haben die Schweden auch getan – aber eben schon im Jahr 2000. Das Postulat „Wir brauchen Gigabit-Netze“ ist deshalb so wichtig, weil sich daran die Regulierung ausrichtet: Wenn die Bundesnetzagentur weiß, dass Gigabit- und Glasfasernetze die politische Zielvorstellung sind, kann sie beispielsweise Entscheidungen über den VDSL-Ausbau anders treffen als in der Vergangenheit.

Staatliche Förderung des Breitbandausbaus

Auch in der Förderung ist die Ausrichtung auf Glasfaser wichtig. Aus meiner Sicht sollte sich die Förderung ausschließlich auf Regionen erstrecken, in denen es anderenfalls keinen Anbieter gäbe, weil sich der Ausbau kommerziell nicht rechnet. Dies gilt beispielsweise für Regionen, die zu dünn besiedelt sind oder in denen sehr weite Strecken überbrückt werden müssen – es gibt zahlreiche Gründe, warum kleinere Dörfer, Weiler oder einzelne Gehöfte nicht eigenwirtschaftlich an das Glasfasernetz angeschlossen werden können.

Ob die derzeitigen Fördermaßnahmen wirklich dort ankommen, wo sie gebraucht werden, lässt sich nicht sagen. Konkrete Zahlen über die Zielgenauigkeit der Breitbandförderung gibt es bislang nicht. Im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums erstellt das WIK gerade erstmals eine solche Evaluierung. Klar ist jedoch, dass jede Subvention Mitnahmeeffekte hat: Die Förderung von Ausbauprojekten, die auch eigenwirtschaftlich erfolgt wären, lässt sich aufgrund des Informationsvorteils der Unternehmen gegenüber dem Staat gar nicht vermeiden.

Im Augenblick haben wir aber eher das umgekehrte Problem, nämlich dass der Abfluss der Fördermittel sehr zögerlich verläuft. Die Antwort der Bundesregierung auf eine Anfrage der FDP-Fraktion vom Juli 2019 verdeutlicht, dass bislang der überwiegende

Teil der Bundesförderung auf die Projektberatung entfällt. Konkret: Von 708 Bewilligungen in den Jahren 2018 und 2019 sind 538 für Beratungsleistungen erteilt worden und nur 103 für die tatsächliche Ausbauförderung sowie 67 für die Erschließung von Gewerbegebieten. Natürlich sind Berater wichtig, um ein Ausbauprojekt erst einmal auf die Beine zu stellen. Aber es sind noch zu wenige Projekte tatsächlich begonnen worden.

Die zehn bis zwölf Milliarden Euro, welche die Bundesregierung bis 2021 für die Breitbandförderung bereitstellen will, halte ich jedoch tendenziell für überdimensioniert. Jedenfalls kann man nicht behaupten, dass zu wenig Geld vom Staat in die Hand genommen wird. Je großzügiger die Subventionen ausfallen, umso höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass es zu Mitnahmeeffekten kommt. Zudem wissen wir, dass ein Anstieg der Nachfrage nach Verlegearbeiten zu einer Steigerung der Tiefbaukosten führt.

Tiefbaukapazitäten als Engpass und Versäumnisse der Vergangenheit

In einer WIK-Studie haben wir ermittelt, dass die Tiefbaukapazitäten derzeit einen Engpassfaktor beim Glasfaserausbau darstellen. Wenn die Auftragsbücher der Tiefbauunternehmen voll sind, führt ein weiterer Anstieg der Nachfrage zu einer Erhöhung der Tiefbaupreise. Dies ist ein wichtiger Grund, weshalb ein schneller Infrastrukturausbau mit viel Geld nicht die optimale Lösung darstellt. Eine langfristig angelegte Strategie nach schwedischem Vorbild mit einer Streuung der Ausbaupraktiken über die Zeit erscheint mir vernünftiger. Das Dilemma ist: Wir haben diese Option in Deutschland nicht mehr, sondern wir müssen schnell handeln.

Wir haben zu lange auf das Kupferkabel gesetzt. Die letzte Legislaturperiode wurde mit dem selbstgesetzten Breitbandziel von 50 Mbit/s praktisch verschlafen. Tatsächlich hat man nichts getan, außer Programme zu initiieren, die dann aber eben nicht verfangen haben. Und auch diese Legislaturperiode stimmt mich bisher jedenfalls nicht optimistisch.

Weiterentwicklung der Regulierung und Rolle des Infrastrukturwettbewerbs

Sicherlich müssen wir uns über eine Weiterentwicklung der Regulierung Gedanken machen. Beispielsweise sollten die Netze sehr viel häufiger auf kommerzieller Basis geöffnet werden und auch Kooperationen, die den gemeinsamen Ausbau vorantreiben, sind ausdrücklich zu begrüßen. Diese dürfen aber nicht durch Gebietsschutz gegen Wettbewerb abgeschottet werden: Einem potenziellen Konkurrenten muss es immer möglich sein, an der Kooperation vorbei in einem bestimmten Gebiet eigene Anschlüsse zu realisieren, wenn sich dies für ihn lohnt.



Wo sich ein Infrastrukturwettbewerb ergibt, sollte er auf keinen Fall verhindert werden. Auch bei der Breitbandförderung ist er bereits im Grundsatz angelegt: So müssen die geförderten Projekte ihre Leerrohre offenlegen und ihren Konkurrenten auch Vorleistungen zur Verfügung stellen. Insofern folgt das Förderkonzept dem Gedanken, dass Infrastrukturwettbewerb prinzipiell möglich sein sollte. Es ist natürlich klar, dass er in vielen Regionen aus betriebswirtschaftlichen Gründen erst gar nicht stattfinden wird.

In der Vergangenheit hat der Wettbewerb zwischen Telekommunikations- und Fernsehkabel-Unternehmen den Breitbandausbau durchaus gefördert. In einer WIK-Studie konnten wir nachweisen, dass die Telekommunikationsunternehmen auf die Einführung des Docsis-Standards seitens der TV-Kabelnetzbetreiber reagiert und ihre Netze ebenfalls aufgerüstet haben. Allerdings ist ab 2016 ein Wendepunkt zu verzeichnen, sodass sich der Glasfaserausbau seitdem vorwiegend auf Gebiete konzentriert, in denen noch kein TV-Kabel liegt. Die neue Ausbaustrategie scheint also darin zu bestehen, die Konkurrenz zu den TV-Kabelnetzbetreibern zu meiden, um sich das gesamte Nachfragepotenzial zu sichern.

Diese veränderte Wirkung des Infrastrukturwettbewerbs auf die privaten Investitionsaktivitäten haben wir im europäischen Durchschnitt beobachtet. Aber das bedeutet natürlich nicht, dass das Pendel nicht wieder zum Prinzip „Konkurrenz belebt das Geschäft“ zurückschlägt, sobald die allgemeine Breitbandabdeckung ein bestimmtes kritisches Niveau erreicht hat oder die Nachfrage noch stärker anzieht. Viele Dienstleistungen der Zukunft sind auf Gigabit-Netze angewiesen. Mit der Marktdurchdringung dieser Anwendungen wird es zu einer völlig veränderten Nachfrage nach Breitbanddiensten kommen, sodass sich möglicherweise auch eine Doppelung von Infrastrukturen wieder betriebswirtschaftlich lohnt.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Iris Henseler-Unger.

Iris Henseler-Unger ist Geschäftsführerin und Direktorin des Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK).

Infrastrukturbedarf in Deutschland in den nächsten Jahren

04

4.1 VORGEHEN BEI DER BEDARFSERMITTLUNG

Nach der Betrachtung des aktuellen Zustands der Infrastruktur in Deutschland gilt es nun, in einem nächsten Schritt zu klären, wie die Verkehrsinfrastruktur und die digitale Infrastruktur ausgestaltet sein müssen, damit sie für die Zukunft gerüstet sind. Dazu wird untersucht, mit welchem Bedarf in Zukunft zu rechnen ist.

Die Bedarfsermittlung erfolgt allerdings nicht für jeden Verkehrsträger separat, wie beispielsweise Straße oder Schiene. Vielmehr werden dazu die Bereiche betrachtet, die die Infrastruktur nutzen. Aus Prognosen über die zukünftige Entwicklung in den jeweiligen Bereichen wird dann anschließend der dafür notwendige Infrastrukturbedarf abgeleitet. Der Grund für dieses Vorgehen ist der, dass beispielsweise die verschiedenen Verkehrsträger im Bereich der Mobilität intermodal genutzt werden. Dadurch entstehen Abhängigkeit und Wechselwirkungen, die bei alleiniger Betrachtung zum Beispiel der Straße eventuell nicht ausreichend berücksichtigt werden. Außerdem wird – wie noch ausgeführt – bei der Verkehrsinfrastruktur die Verknüpfung mit der digitalen Infrastruktur eine immer größere Rolle spielen. Auch dies kann bei einer Betrachtung, die von der Art der Nutzung ausgeht, besser zur Geltung kommen.

Die Bedarfsermittlung erfolgt für vier Bereiche: Personenmobilität, Gütermobilität, industrielle Produktion und E-Government. Die beiden Mobilitätsdimensionen decken im Grunde genommen die vollständige Nutzung der Verkehrsinfrastruktur ab. Mit der industriellen Produktion und dem E-Government werden zum einen wichtige Bereiche für die deutsche Volkswirtschaft und Gesellschaft betrachtet und zum anderen mit Blick auf den technologischen Fortschritt Bereiche beleuchtet, die künftig sehr auf eine adäquate digitale Infrastruktur angewiesen sind.

Für die Bedarfsermittlung wird nun beispielsweise im Bereich der Personenmobilität untersucht, wie sich das dortige Aufkommen gemäß den Prognosen entwickelt. Ausgehend von einer anschließenden Gegenüberstellung mit dem aktuellen Infrastrukturbestand wird dann abgeleitet, ob die Bedarfsentwicklung im jetzigen Infrastruktursystem noch abgebildet werden kann oder ob das System verändert werden muss.

In ähnlicher Weise wird ebenfalls analysiert, welchen Bedarf an digitaler Infrastruktur die künftigen Formen der industriellen Produktion und der öffentlichen Verwaltung haben werden.

Eine Besonderheit bei der Bedarfsermittlung in dieser Studie ist außerdem, dass verschiedene Szenarien – genau genommen drei – bei den Prognosen betrachtet werden. Im Rahmen eines „linearen“ Szenarios werden für die Untersuchung relativ einfache



Prognosen genutzt, die nur den aktuellen Trend für die Zukunft fortschreiben. Solche Prognosen können allerdings relativ schnell überholt sein, wenn sich beispielsweise Annahmen ändern. Deshalb wird darüber hinaus ein „normatives“ Szenario mitberücksichtigt. Die Idee dabei ist, dass die Infrastruktur nicht nur für das gerüstet sein muss, was man aktuell schon für die Zukunft erwarten kann. Das Ziel muss viel eher sein, dass die Infrastruktur schon für die Anwendungen von „übermorgen“ gerüstet ist, das heißt Anwendungen, die heute noch nicht absehbar sind und unter Umständen erst nach einem Innovationssprung möglich werden. Schließlich gehören zur Basis der Analyse auch Prognosen, die aus einem „grünen“ Szenario stammen. Der Klimaschutz spielt nicht erst seit „Fridays for Future“ eine große Rolle in der gesellschaftlichen Debatte. Daneben ist ebenso das politische Handeln zurzeit sehr von diesem Thema geprägt. So hat sich Deutschland in dem Klimaschutzplan 2050 dem Ziel verschrieben, die Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 Prozent zu vermindern.⁸⁵ Insofern wird im Rahmen des grünen Szenarios untersucht, wie sich beispielsweise die Personen- und Gütermobilität zur Erreichung dieses Ziels entwickeln müssen.

85 Vgl. BMU (2016).

4.2 PERSONENMOBILITÄT

Die Verkehrsinfrastruktur, das Netz aus Straßen und Schienen, ist die entscheidende Grundlage für die Mobilität von Personen. Diese Personenmobilität wird in den nächsten Jahren weiter zunehmen. Die grundsätzliche Entwicklung des Personenverkehrs wird von zwei gegenläufigen Trends beeinflusst. Durch die abnehmende Gesamtbevölkerung, die Verschiebung der Altersstruktur sowie die abnehmende Anzahl Erwerbstätiger sinkt die Mobilitätsnachfrage. Zugleich bewirken steigende Einkommen, eine größere Nachfrage nach Hol- und Bringdiensten sowie eine verstärkte Nutzung des Autos durch ältere Personen eine größere Pro-Kopf-Mobilität.⁸⁶

Dies sind Annahmen, mit denen im Bundesverkehrswegeplan 2030 gearbeitet wird.⁸⁷ Der Bundesverkehrswegeplan ist ein zentrales Element der Verkehrsinfrastrukturplanung des Bundes mit den Aus- und Neubauprojekten, in dem Fall bis 2030 (siehe Kapitel 3.4.1). Für die Aufstellung des Plans werden wiederum die Ergebnisse der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 genutzt.⁸⁸

Diese Prognose stellt in dieser Studie das lineare Szenario dar. Ausgehend von Annahmen, die aus dem Jahr 2014 stammen, wurden bestehende Entwicklungen fortgeschrieben. Abbildung 15 auf der nächsten Seite zeigt, dass die Personenmobilität bis 2030 weiter zunimmt. Die Verkehrsleistung wird im Jahr 2030 eine Größenordnung von etwa 1.175 Milliarden Personenkilometer aufweisen.⁸⁹ Dies bedeutet, verglichen mit dem Jahr 2010, eine Zunahme um rund zehn Prozent. Die Zunahme betrifft dabei zwar jede Form des motorisierten Personenverkehrs, aber in einem unterschiedlichen Ausmaß. So wächst der Busverkehr mit sechs Prozent bis 2030 relativ verhalten. Die Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr – dem Autoverkehr – wird in dem betrachteten Zeitraum um etwa zehn Prozent zunehmen. Ein überproportionales Wachstum wird für den Zugverkehr prognostiziert. Hier soll die Verkehrsleistung auf rund 100 Milliarden Personenkilometer im Jahr 2030 anwachsen, ein Anstieg um etwa 19 Prozent.

⁸⁶ Vgl. BMVI (2016), Gerbert et al. (2018), Schubert et al. (2014).

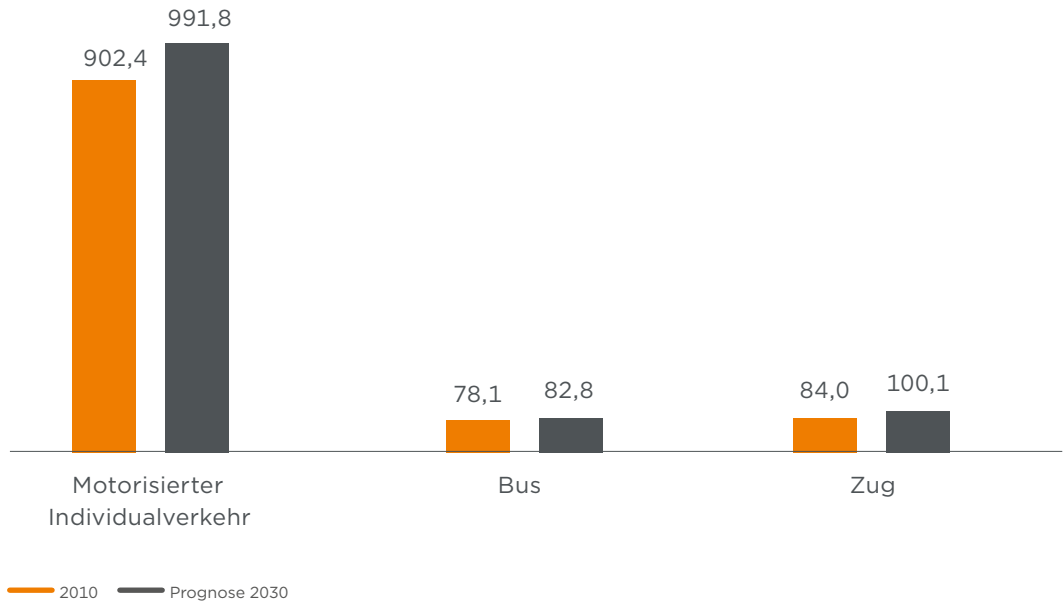
⁸⁷ Vgl. BMVI (2016).

⁸⁸ Vgl. Schubert et al. (2014).

⁸⁹ Der Fokus liegt auf der landgebundenen Mobilität, sodass der Luftverkehr nicht betrachtet wird.

Abbildung 15: Entwicklung der Personenmobilität – lineares Szenario

Verkehrsleistung in Milliarden Personenkilometer nach Verkehrsträger



Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

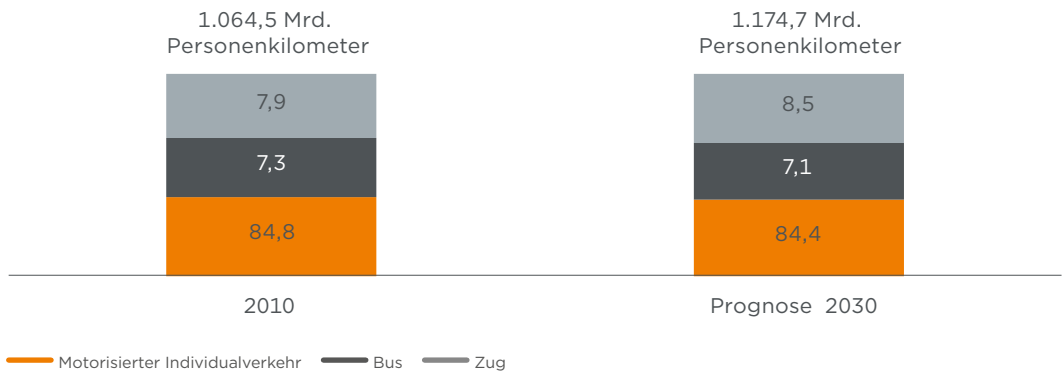
Aus den unterschiedlichen Wachstumsraten resultiert auch eine Veränderung des Modal-Splits (siehe Abbildung 16). Die Bedeutung des motorisierten Individualverkehrs und des Busverkehrs nehmen zugunsten des Zugverkehrs ab. Dessen Anteil an der gesamten Verkehrsleistung bei der Personenmobilität steigt leicht um 0,6 Prozentpunkte auf 8,5 Prozent. In jedem Fall wird aber das Auto auch 2030 im Zentrum der Personenmobilität stehen. Davon kann sicher ausgegangen werden. Die tatsächliche Verkehrsleistung wird aller Voraussicht nach allerdings noch größer sein, als es die Prognose ausweist, weil die Annahmen mittlerweile schon überholt sind. So wurde für die Schätzung des Verkehrsaufkommens im Bundesverkehrswegeplan 2030 mit einem durchschnittlichen Wachstum des Bruttoinlandsprodukts (BIP) in Deutschland pro Jahr bis 2030 von 1,14 gerechnet. Im Zeitraum von 2010 bis 2018 betrug die Wachstumsrate allerdings etwa 1,7 Prozent pro Jahr. Erfolgt die Prognose auf Basis dieses BIP-Wachstums, würde die Verkehrsleistung im Jahr 2030 um rund 8 bis 10 Prozent größer ausfallen.⁹⁰ Darüber hinaus wurde mit einer Einwohnerzahl im Jahr 2030 von etwa 78 Millionen Personen gerechnet. Laut der jüngsten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes wird die Einwohnerzahl im Jahr 2030 nun allerdings im Bereich von 83 Millionen Personen liegen. Die Personenmobilität wird bis 2030 also noch stärker zunehmen, als es

⁹⁰ Konkrete Werte, auch für die einzelnen Mobilitätsformen, können nicht angegeben werden, da BMVI (2016) nur grobe Werte für die Sensitivität der Prognose ausweisen.

die Prognose im Bundesverkehrswegeplan 2030 ausweist. Ergebnis des linearen Szenarios ist eine zunehmende Personenmobilität bis 2030, die sich minimal zum Zugverkehr verlagert.

Abbildung 16: Entwicklung der Bedeutung der einzelnen Verkehrsträger der Personenmobilität – lineares Szenario

Prozentualer Anteil der einzelnen Verkehrsträger an der gesamten Verkehrsleistung



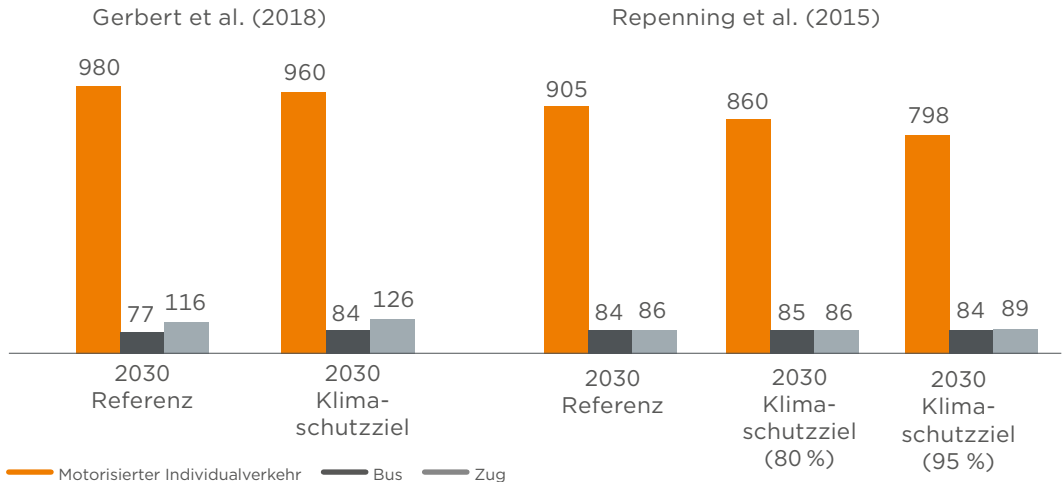
Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Eine weitere Zunahme der Personenmobilität ist ebenfalls das Ergebnis einer Prognose⁹¹, die im Rahmen des grünen Szenarios betrachtet wird. Interessanter als dies ist allerdings der Effekt, den die Einhaltung der Klimaschutzziele auf die Entwicklung der Personenmobilität bis zum Jahr 2030 hat. Dazu wird in den beiden Untersuchungen – Gerbert et al. (2030) und Repenning et al. (2015) –, die die Grundlage für das grüne Szenario bilden, jeweils einer Prognose für 2030 mit Klimaschutzziel eine Referenzprognose ohne Einhaltung des Ziels gegenübergestellt (siehe Abbildung 17 auf der nächsten Seite).

91 Vgl. Gerbert et al. (2018).

Abbildung 17: Entwicklung der Personenmobilität – grünes Szenario

Prognostizierte Verkehrsleistung in Mrd. Personenkilometer nach Verkehrsträger



Quellen: Gerbert et al. (2018), Repenning et al. (2015)

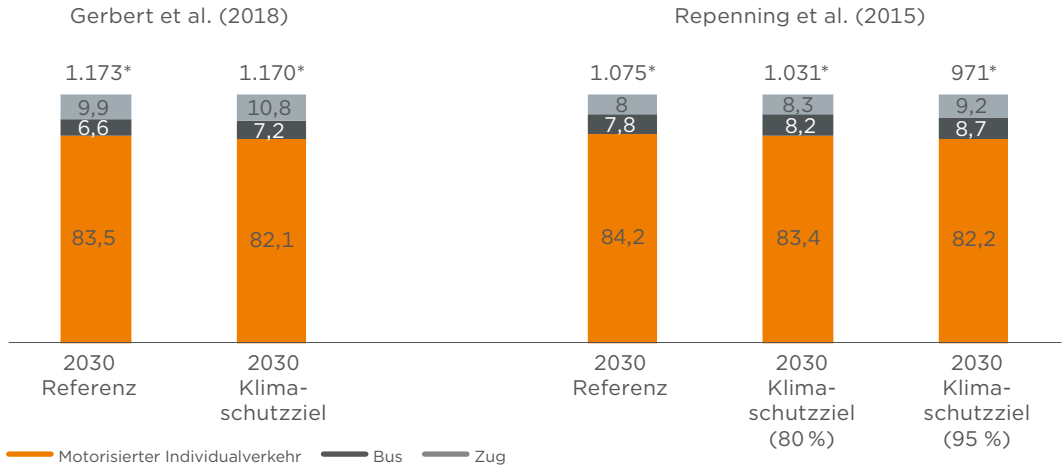
Während in einer Untersuchung die beiden Ziele zur Verringerung der Treibhausgasemissionen (80 Prozent und 95 Prozent) separat betrachtet werden, sind diese in der anderen Prognose zusammengefasst. Unabhängig vom konkreten Vorgehen ist das Ergebnis in beiden Untersuchungen bei dem Vergleich mit der Referenz, dass erstens die Verkehrsleistung im Jahr 2030 geringer ausfallen wird bzw. muss, wenn die Klimaschutzziele eingehalten werden sollen.⁹² Bei der Berechnung von Repenning et al. (2015) würde das Aufkommen der motorisierten Personenmobilität im Jahr 2030 sogar geringer ausfallen als 2010, wobei dies nur den motorisierten Individualverkehr betrifft (siehe Abbildung 15).

Zweitens muss ein größerer Anteil der Personenmobilität mittels Zug oder Bus erfolgen, damit die Klimaschutzziele eingehalten werden können (siehe Abbildung 18). Deren Anteile am gesamten Verkehrsaufkommen sind jeweils größer als in der Referenzprognose.

⁹² Die genauen Ergebnisse der beiden Studien unterscheiden sich aus verschiedenen Gründen, wie andere Berechnungsverfahren oder Annahmen.

Abbildung 18: Entwicklung der Bedeutung der einzelnen Verkehrsträger der Personenmobilität – grünes Szenario

Prozentualer Anteil der einzelnen Verkehrsträger an der gesamten Verkehrsleistung (* Mrd. Personenkilometer)



Quellen: Gerbert et al. (2018), Repenning et al. (2015)

Wesentliche Ergebnisse des grünen Szenarios sind insofern, dass möglicherweise das gesamte Aufkommen der Personenmobilität bis 2030 zunimmt, wobei sich hier beide Prognosen unterscheiden, wie in den Abbildungen dargestellt. Die Zunahme würde allerdings geringer ausfallen als im linearen Szenario. In jedem gewinnt der Zugverkehr noch mehr an Bedeutung.

Im Rahmen des normativen Szenarios geht es um die Aspekte oder Pläne, die über das lineare Szenario hinausgehen. So möchte die Deutsche Bahn beispielsweise die Fahrgastzahl im Fernverkehr bis zum Jahr 2030 auf 260 Millionen steigern.⁹³ Dies stellt gegenüber 2018 eine Zunahme um ungefähr 75 Prozent dar und übertrifft die Prognose des Bundesverkehrswegeplans 2030. Außerdem sollen 30 Metropolen in Deutschland in einem Halbstundentakt miteinander verbunden werden.

Zum normativen Szenario gehört jedoch nicht nur das Mobilitätsaufkommen, sondern auch die Mobilitätsart. Hier gibt es eine stetige Weiterentwicklung autonom fahrender Fahrzeuge. Grundsätzliche werden fünf Level (siehe Abbildung 19 auf der nächsten Seite) beim autonomen Fahren unterschieden, die mit unterschiedlichen Infrastruktur- anforderungen verbunden sind.⁹⁴

⁹³ Vgl. Becker / Böll (2019), Schlesinger (2019).

⁹⁴ Vgl. ADAC (2018), vbw (2016).

Level 1 – Assistiertes Fahren

Das Fahrzeug übernimmt selbst einzelne Funktionen wie das Halten einer bestimmten Geschwindigkeit, Spur oder eines bestimmten Abstands. Der Fahrer wird insofern lediglich unterstützt.

Level 2 – Teilautomatisiertes Fahren

Das Fahrzeug kann manche Aufgaben für eine gewisse Zeit selbst ausführen, da es selbstständig zeitgleich mehrere Funktionen wie die Kontrolle über Geschwindigkeit und Spur parallel ausführt. Hierbei könnte der Fahrer die Hände kurz vom Steuer nehmen, er muss allerdings stets die Systeme überwachen.

Level 3 – Hochautomatisiertes Fahren

Das Fahrzeug kann bestimmte Fahraufgaben wie das Fahren auf einer Autobahn selbstständig und komplett ohne menschliche Eingriffe bewältigen. Im hochautomatisierten Fahrmodus kann der Fahrer seine Aufmerksamkeit vom Straßenverkehr abwenden. Gibt das System aber ein Signal, muss er in der Lage sein, sofort die Steuerung des Fahrzeugs zu übernehmen.

Level 4 – Vollautomatisiertes Fahren

Das Fahrzeug kann alle Fahraufgaben, auch auf einer längeren Strecke, selbstständig ausführen. Der Fahrer wird zum Passagier. Es gibt allerdings weiterhin die Möglichkeit, dass der Fahrer selbst die Kontrolle übernimmt, beispielsweise dann, wenn ihn das System dazu auffordert, da es ein unvorhergesehenes Problem gibt. Kann oder will der Fahrer in dieser Situation allerdings nicht die Steuerung übernehmen, so stellt das Fahrzeug einen sicheren Zustand her, indem es zum Beispiel einen Parkplatz ansteuert.

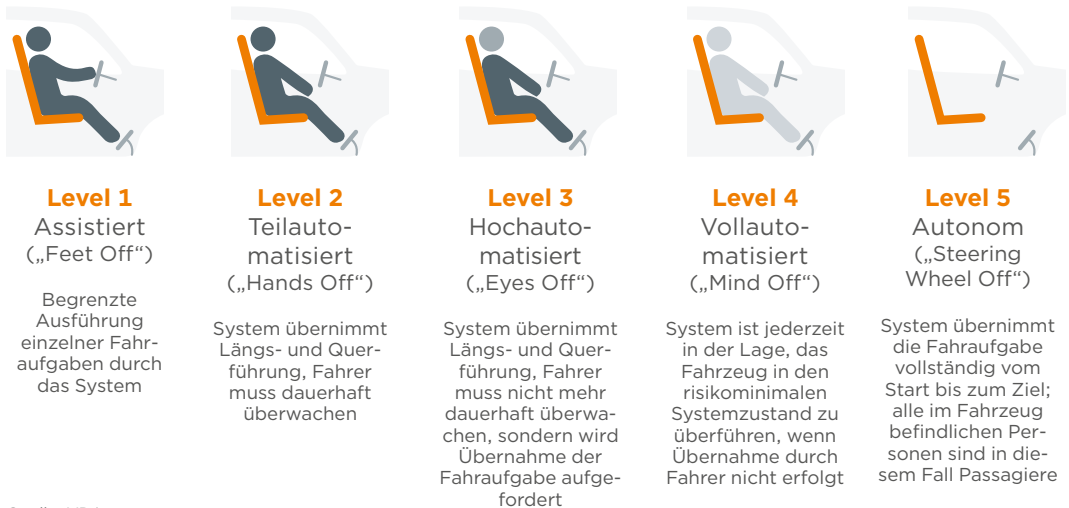
Level 5 – Autonomes Fahren

Das Fahren wird vollständig in jeder Situation vom System übernommen. Es gibt im Fahrzeug nur noch Passagiere. Sie müssen nie die Steuerung des Fahrzeugs übernehmen, manuelle Steuerungseinrichtungen sind nicht mehr vorhanden.

Die ersten beiden Level sind bereits seit Jahren am Markt etabliert. Aktuell kommt gerade das Level 3 auf den Markt und wird sich 2020 stark verbreiten.⁹⁵ Erste Tests gibt es beim autonomen Fahren des Levels 4. Hier ist mit der Markteinführung allerdings erst ab dem Jahr 2024 zu rechnen, und dann zu Beginn nur auf bestimmten Strecken wie Autobahnen, speziellen Landstraßen oder beim Parken. Eine Einführung des vollkommen autonomen Fahrens (Level 5) ist aktuell angesichts hoher technologischer, regulatorischer und finanzieller Hürden noch nicht absehbar. Zuletzt hatten einige Autohersteller Abstand vom Level 5 als Entwicklungsziel genommen.

95 Vgl. Delhaes / Murphy (2019), Fraunhofer FOKUS (2016), Tyborski (2019a/b).

Abbildung 19: Level des automatisierten Fahrens (Automatisierungsgrad)



Quelle: VDA

In jedem Fall sollte die Infrastruktur aber für das autonome Fahren bis Level 4 gerüstet sein. Bereits dies bringt einige Anforderungen mit sich.⁹⁶ Für die ersten beiden Levels ist es ausreichend, wenn die Straßeninfrastruktur in einem ordnungsgemäßen Zustand im Rahmen des gegenwärtigen Standards ist. Es sollten Fahrbahnmarkierungen sowie Verkehrszeichen gut sichtbar vorhanden sein und die Fahrbahn sollte sich in einem guten Zustand befinden. Darüber hinaus gibt es keine Anforderungen an eine digitale Infrastruktur.

Für das hochautomatisierte Fahren (Level 3) wird hingegen eine flächendeckende Mobilfunkversorgung im Fahrbereich benötigt. Hochautomatisierte Fahrzeuge sind auf eine präzise Beschreibung ihres Umfelds angewiesen. Die Kommunikationsanbindung ist notwendig für Informationen zur Verkehrslage und hochgenaue HD-Karten.

Autonomes Fahren der Levels 4 oder 5 benötigt noch mehr digitale Informationen zur aktuellen Verkehrssituation (Geschwindigkeit, Staulage, Wanderbaustellen, Standstreifenfreigabe, Witterungsbedingungen), die zum Teil zwischen den einzelnen Fahrzeugen ausgetauscht werden (Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation).⁹⁷ Entscheidend ist dabei eine Echtzeitfähigkeit. Gerade aus Sicherheitsaspekten sollte die Latenz bei der Datenübertragung, insbesondere bei Level 5, gering sein. Dafür ist eine flächendeckende Versorgung mit einem hochleistungsfähigen Mobilfunk erforderlich. Des Weiteren muss eine Interaktion bzw. Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur möglich sein. Die Verkehrszeichen- oder Signalanlagen sollten die aktuelle Lage nicht

⁹⁶ Vgl. vbw (2016).

⁹⁷ Vgl. Delhaes / Murphy (2019), Hubik (2019), vbw (2016).



nur zeigen, sondern den Fahrzeugen auch übermitteln (Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation). Damit kann die Sicherheit erhöht werden.

Neben diesen Veränderungen bei der heutigen Verkehrsinfrastruktur ist für das autonome Fahren dementsprechend eine leistungsfähige digitale Infrastruktur in den Fahrbereichen essenziell. Während für Level 4 wohl noch der Mobilfunkstandard LTE/4G ausreicht, bedarf es für vollkommen autonomes Fahren aufgrund der Echtzeitanforderung einer 5G-Versorgung.⁹⁸

Aktuell gibt es jedoch keine Festlegung auf einen Standard bzw. eine Technologie für die Kommunikation und Datenübertragung beim autonomen Fahren. Eine Alternative zu 5G bzw. Mobilfunk ist die WLAN-Technologie.⁹⁹ In diesem Fall werden für die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen lokale WLAN-Netzwerke eingerichtet. Eine Übertragung von Informationen über größere Entfernung erfolgt mittels LTE/4G-Mobilfunk. Vorteil dieser Alternative ist, dass sie frei verfügbar und erprobt ist.¹⁰⁰ Die 5G-Lösung wiederum ermöglicht eine verlässlichere Kommunikation über größere Distanzen.¹⁰¹ Außerdem werden schwächere Verkehrsteilnehmer wie Radfahrer und Fußgänger besser geschützt.

98 Vgl. Fraunhofer FOKUS (2016), Hubik (2019), Tyborski (2019a/b).

99 Vgl. Reder (2014).

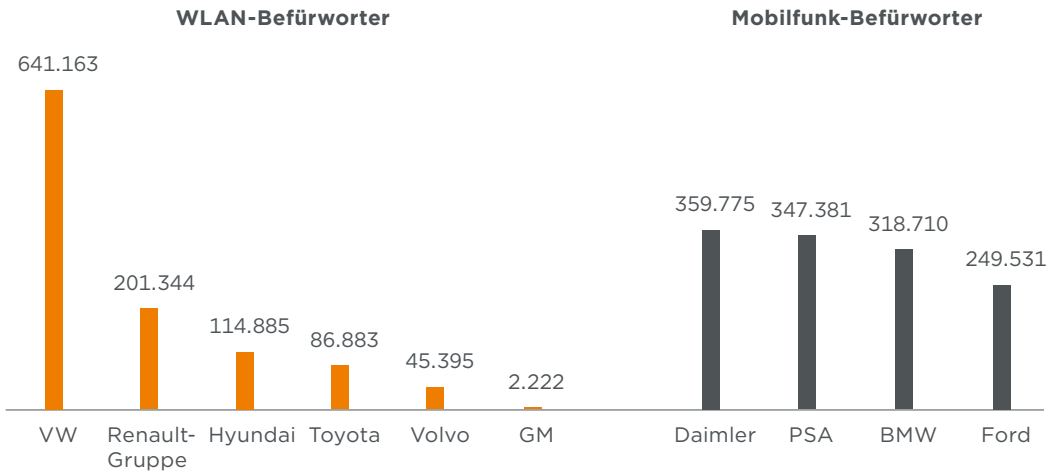
100 Vgl. Delhaes (2019b).

101 Vgl. Bitkom (2019b).

Folge der bestehenden Technikoffenheit ist, dass zum jetzigen Zeitpunkt die Hersteller unterschiedliche Standards nutzen (siehe Abbildung 20), die am Ende auch verschiedene Infrastrukturausprägungen erforderlich machen. Im Jahr 2019 hatte die EU-Kommission den Versuch unternommen, mittels eines Rechtsaktes eine gewisse Festlegung auf einen Standard zu erreichen.¹⁰² So sollte zunächst einmal WLAN beim vernetzten Fahren genutzt werden, solange adäquate Mobilfunklösungen im Bereich 5G noch nicht ausge-reift sind. Dieser Rechtsakt wurde allerdings unter anderem mit der Stimme Deutsch-lands abgelehnt, sodass weiterhin verschiedene Standards koexistieren.

Abbildung 20: Kommunikationsstandard fürs Auto – Zwei Lager bei den Herstellern

PKW-Neuzulassungen in Deutschland 2018



Quellen: Kraftfahrt-Bundesamt, Handelsblatt

102 Vgl. Delhaes (2019a/b).

**Alexander Mankowsky (Daimler)**

In den nächsten zehn Jahren bis 2030 wird sich die konkrete Ausgestaltung der Mobilität nicht signifikant verändern. Grund dafür ist, dass sich in diesem Zeitraum der Wohnungsmarkt sowie die Art und Weise, wo und wie die Leute wohnen, nicht mehr radikal verändern wird.

Anders ist es bei der Arbeitswelt, die sich schon verändert hat und noch weiter ändern wird. Mobiles Arbeiten und Home Office nehmen zu, sodass die Menschen weniger auf das Pendeln angewiesen sind. Derartige determinierte Mobilität geht zurück, folglich wird dafür weniger Infrastruktur benötigt. Gleichzeitig bedeutet die Abnahme dieser „Zwangsmobilität“ allerdings nicht, dass die Leute per se weniger mobil sind.

Des Weiteren werden sich die Leute künftig vom Universalverkehrsmittel Auto wegbegeben. Sie konfigurieren ihre Mobilität vielmehr mittels verschiedener Verkehrsmittel. Trotzdem wird das private Auto auch in Zukunft eine wichtige Rolle im Alltag der Menschen spielen.

Darüber hinaus wird zwar Automatisierung bei der Mobilität weiter an Bedeutung zunehmen, bis 2030 werden allerdings keine vollautonom fahrenden Fahrzeuge massenwirksam auf den Straßen zu finden sein.

Der weitere Wandel der Mobilität in dieser Hinsicht hängt dabei nicht mehr von den Technologien ab. Diese sind faktisch alle vorhanden, wenn auch noch nicht industrialisiert oder nicht zugänglich. Treiber für den weiteren Wandel ist nun die Politik. Es hängt von ihrer Gestaltungskraft sowie den Bürgern ab, ob der Wandel gelingt.

Für das autonome Fahren wird allerdings auch die passende Infrastruktur benötigt. Ein wichtiger Schritt, damit die Verkehrsinfrastruktur für das vollautonome Fahren gerüstet ist, betrifft die Verkehrszeichen, Signale und die Verkehrsregelung. Es gibt unzählige Verkehrsschilder und Regelungen, an die sich die Menschen zum Teil nicht halten. Dazu gehören beispielsweise vergessene Verkehrsschilder bei Autobahnbaustellen, Umleitungen oder Ölspuren. Der Anlass für diese Schilder ist nicht mehr gegeben, was ein menschlicher Fahrer auch bemerkt. Ein weiteres Befolgen dieser Regeln würde unter Umständen den Verkehr stören. Die Regeln und das Verhalten der Menschen sind teilweise entkoppelt. Da sich allerdings alle so verhalten, sie dies gegenseitig berücksichtigen und kooperativ miteinander sind, ist der Verkehr trotzdem sicher.

Ein autonomes Fahrzeug könnte die Situation jedoch nicht derartig einschätzen und würde sich strikt an die Regeln halten. Es hätte in diesem System Schwierigkeiten, deren Lösung weniger eine Frage von Geld und Technologie ist als vielmehr eine Neubesinnung auf den gesunden Menschenverstand.

Darüber hinaus ist eine digitale Infrastruktur erforderlich, die sich zuerst durch eine flächendeckende Versorgung auszeichnet. Erst wenn dies gewährleistet ist, kann man dafür sorgen, dass die Qualität verbessert wird. Denn der prioritäre Verbesserungsbedarf bei der digitalen Infrastruktur hängt weniger an 5G, viel wichtiger ist überhaupt erst einmal eine flächendeckende Versorgung mit 3G oder 4G.

Dementsprechend ist auch der Nutzen von Pilotprojekten äußerst begrenzt. Unternehmen entwickeln keine Produkte und Services, die eine digitale Infrastruktur benötigen, welche nur in einzelnen Regionen verfügbar ist.

Diesbezüglich muss Planungssicherheit herrschen. Wenn zugesichert ist, dass ein bestimmter Standard in ganz Deutschland verfügbar ist und Bürger oder Unternehmen darauf angewiesen sind, muss dies auch überall funktionieren und nicht nur auf 80 Prozent der Fläche. Ansonsten müsste man für die restlichen 20 Prozent noch weitere Technologien vorhalten.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Alexander Mankowsky.

Alexander Mankowsky ist Zukunftsforscher bei der Daimler AG.

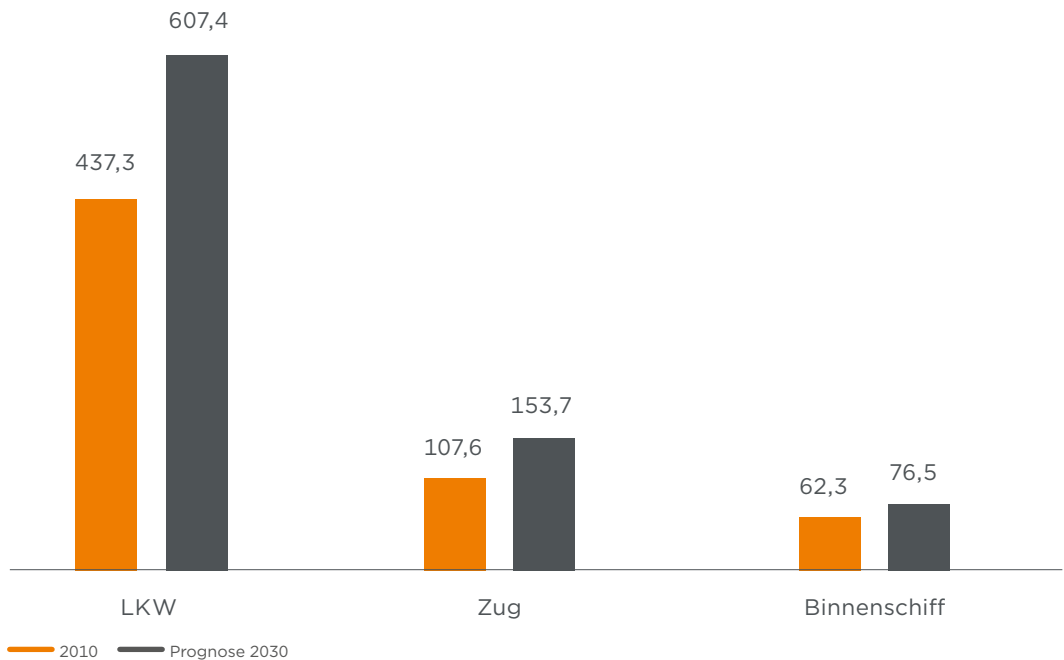
4.3 GÜTERMObILITÄT

Die zweite Dimension der Mobilität, die auf die Verkehrsinfrastruktur angewiesen ist, ist die Gütermobilität. Der Warentransport ist gerade in wirtschaftlicher Hinsicht äußerst wichtig. Auch die Gütermobilität wird in Zukunft zunehmen, sogar in größerem Umfang als die Personenmobilität. Getrieben wird die Zunahme durch das Wirtschaftswachstum, die Bedeutung des Außenhandels sowie Veränderungen im Konsumverhalten, die in einem wachsenden Onlinehandel zum Ausdruck kommen.

Im linearen Szenario weist die Prognose des Bundesverkehrswegeplans 2030 eine Güterverkehrsleistung für das Jahr 2030 von etwa 838 Milliarden Tonnenkilometern aus.¹⁰³ Dies stellt gegenüber dem Vergleichszeitraum eine Zunahme um 38 Prozent bis 2030 dar. Am stärksten nimmt die Transportleistung im Bereich der Schiene zu (siehe Abbildung 21). Hier liegt das Wachstum bei rund 43 Prozent. Die unterschiedlichen Wachstumsraten führen dazu, dass sich die Bedeutung der verschiedenen Transportoptionen verändert (siehe Abbildung 22). Während der Anteil der Binnenschifffahrt am gesamten Güterverkehrsaufkommen von 2010 bis 2030 um 1,2 Prozentpunkte sinkt, steigt der Anteil von Straße und Schiene.

Abbildung 21: Entwicklung der Gütermobilität – lineares Szenario

Verkehrsleistung in Milliarden Tonnenkilometer nach Verkehrsträger

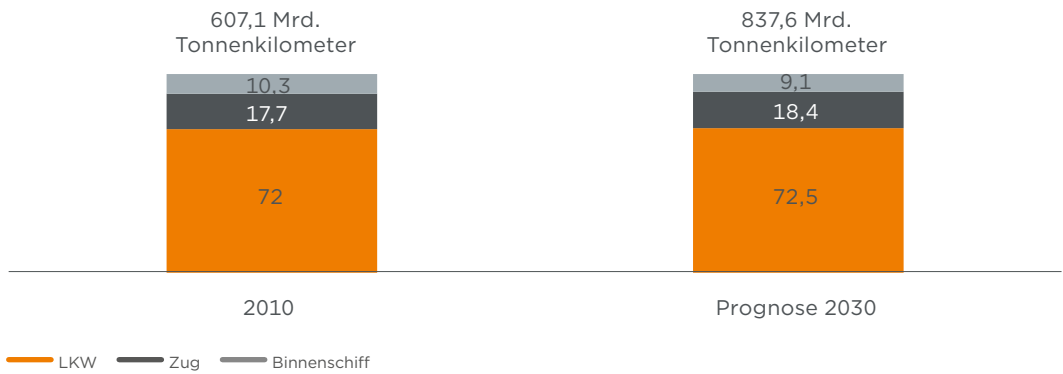


Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

103 Vgl. BMVI (2016), Schubert et al. (2014).

Abbildung 22: Entwicklung der Bedeutung der einzelnen Verkehrsträger der Gütermobilität – lineares Szenario

Prozentualer Anteil der einzelnen Verkehrsträger an der gesamten Verkehrsleistung



Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Allerdings sind diese Werte angesichts der veralteten Annahme mittlerweile ebenfalls überholt (siehe Kapitel 4.2). Allein aufgrund des größeren BIP-Wachstums würde die Verkehrsleistung im Jahr 2030 um etwa 6 bis 7 Prozent höher ausfallen.¹⁰⁴ Und die größere prognostizierte Einwohnerzahl im Jahr 2030 hat mehr Konsum und dadurch mehr Lieferverkehr zur Folge.

Nach dem linearen Szenario wird die Gütermobilität bis 2030 relativ stark zunehmen und sich etwas mehr auf die Schiene verlagern. Zum Großteil erfolgt der Transport aber weiterhin über die Straße.

Gerade dieser Aspekt ist in Sachen Klimaschutz negativ zu beurteilen. So verursachten die 0,7 Million LKWs im Jahr 2015 mehr als 75 Prozent der Treibhausgasemissionen des deutschen Straßengüterverkehrs.¹⁰⁵ Dies hat einen Effekt auf die Prognosen im grünen Szenario. Sollen die Klimaschutzziele eingehalten werden, muss im Jahr 2030 weniger Güterverkehrsleistung über die Straßen erfolgen (Abbildung 23 auf der nächsten Seite).¹⁰⁶ Gegenüber der jeweiligen Referenzprognose fällt das Straßengüterverkehrsaufkommen in den Prognosen, bei denen die Klimaschutzziele eingehalten werden, geringer aus. Etwas überraschend ist, dass hingegen das gesamte Güterverkehrsaufkommen ein höheres Niveau aufweist. Der Grund dafür ist, dass mit Zug und Binnenschiff der Transport nicht so direkt erfolgen kann wie mit einem LKW, sodass mehr Umweg- und Verteilfahrten erforderlich sind.

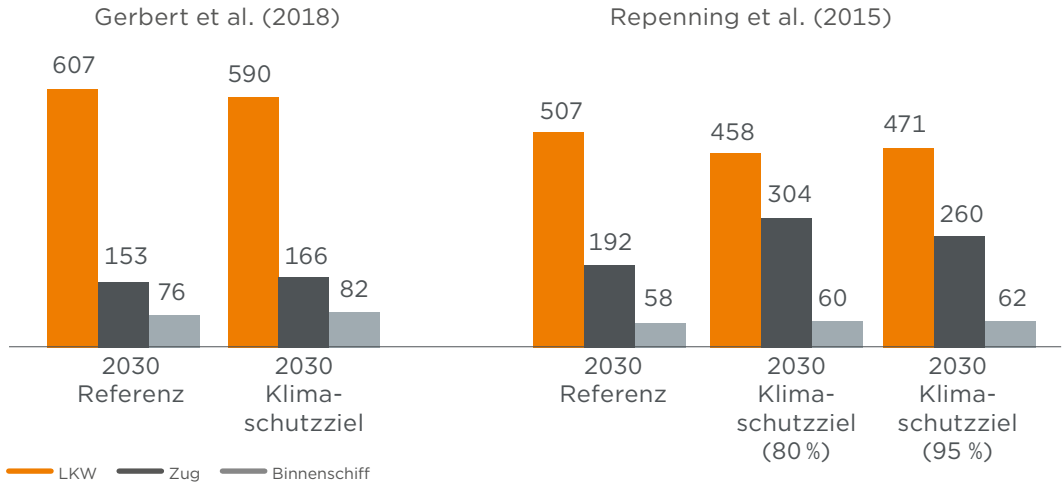
¹⁰⁴ Konkrete Werte, auch für die einzelnen Mobilitätsformen, können nicht angegeben werden, da das BMVI (2016) nur grobe Werte für die Sensitivität der Prognose ausweist.

¹⁰⁵ Vgl. Gerbert et al. (2018).

¹⁰⁶ Vgl. Gerbert et al. (2030), Repenning et al. (2015).

Abbildung 23: Entwicklung der Gütermobilität – grünes Szenario

Prognostizierte Verkehrsleistung in Mrd. Tonnenkilometer nach Verkehrsträger

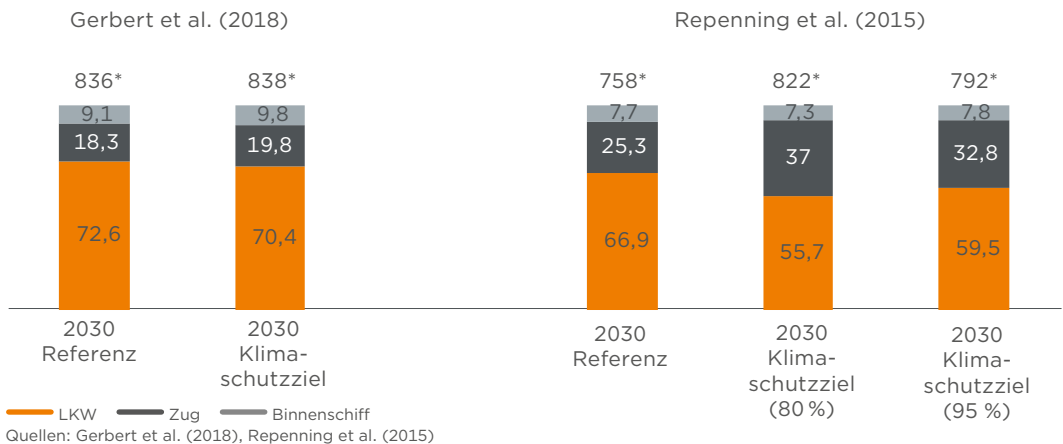


Quellen: Gerbert et al. (2018), Repenning et al. (2015)

Das grüne Szenario zeichnet sich darüber hinaus durch eine stärkere Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene aus (siehe Abbildung 24). Besonders deutlich wird dies in den Ergebnissen von Repenning et al. (2015). Die Güterverkehrsleistung beim Binnenschiff nimmt – wenn überhaupt – nur minimal zu.

Abbildung 24: Entwicklung der Bedeutung der einzelnen Verkehrsträger der Gütermobilität – grünes Szenario

Prozentualer Anteil der einzelnen Verkehrsträger an der gesamten Verkehrsleistung (* Mrd. Tonnenkilometer)



Quellen: Gerbert et al. (2018), Repenning et al. (2015)

Werden dementsprechend die Klimaschutzziele eingehalten, geht dies dennoch mit einer steigenden Gütermobilität einher, die allerdings im Vergleich zum linearen Szenario in einem größeren Umfang über die Schiene erfolgt.

Ähnlich wie beim Personenverkehr strebt die Deutsche Bahn allerdings beim Güterverkehr ebenfalls weitreichendere Ziele an, die über das lineare Szenario hinausgehen. Diese Ziele werden als normatives Szenario aufgefasst. So soll der Güterverkehr bis 2030 um 70 Prozent zunehmen.¹⁰⁷ Infolgedessen wird die Schiene dann einen Anteil an der gesamten Güterverkehrsleistung von 25 Prozent aufweisen. Das BMVI hielt im Sommer 2019 sogar einen Anteil von 25 bis 30 Prozent für realisierbar.

Gerade beim Güterverkehr sollte die Infrastruktur auch im europäischen Kontext gesehen werden, da der Transportsektor das Rückgrat des europäischen Binnenmarktes ist.¹⁰⁸ Aus diesem Grund gibt es ein Schwerpunktprogramm der EU zum Transeuropäischen Verkehrsnetz, mit dem eine bessere Vernetzung des Binnenmarktes sowie eine Vereinheitlichung der Verkehrssysteme angestrebt wird. Ziel dieses Programms ist ein Ausbau des Kernnetzes bis 2030 und des Gesamtnetzes bis 2050. Dabei gehören zum Kernnetz insgesamt neun Verkehrskorridore via Straße und Schiene, beispielsweise von Skandinavien bis Süditalien, von Deutschland bis zum Atlantik in Frankreich, Spanien und Portugal oder auch vom Baltikum bis zur Adria.

4.4 INDUSTRIELLE PRODUKTION

Eines der zentralen Themen im Bereich der industriellen Produktion ist die technologische Weiterentwicklung zu einer „Industrie 4.0“ bzw. „Smart Production“. Es geht dabei um die digitale Transformation der industriellen Produktion.¹⁰⁹ Dies zeichnet sich durch verschiedene Aspekte aus: So werden im Zuge der digitalen Transformation der Produktion Maschinen, Roboter und weitere Anlagen miteinander vernetzt, damit sie miteinander kommunizieren können (Machine-to-Machine). Ferner werden die Anlagen „intelligent“ und können untereinander Informationen und Anweisungen austauschen. In diese Kommunikation sind auch intelligente Werkstücke und Produkte eingebunden, die zusammen mit den vernetzten Maschinen eine autonome Steuerung der Produktion mit größerer Flexibilität ermöglichen.

Die Vernetzung ist darüber hinaus nicht nur auf ein Unternehmen beschränkt, sondern umfasst die gesamte unternehmensübergreifende Wertschöpfungskette. Die Produktion lässt sich damit über Unternehmensgrenzen hinweg koordinieren und nahezu in Echtzeit

107 Vgl. Fockenbrock (2019a), Schlautmann (2019), Schlesinger (2019).

108 Vgl. BDI (2015b).

109 Vgl. Bauer et al. (2016), Commerzbank (2017), Prognos (2016).

steuern. Veränderungen – beispielsweise beim Produzenten eines Endprodukts – lösen automatisch Reaktionen bei den vorgeschalteten Unternehmen und ihren Zulieferern in der Wertschöpfungskette aus.

In infrastruktureller Hinsicht funktioniert Industrie 4.0 nur mit geeigneten Kommunikations- und Datenübertragungsmöglichkeiten. Diese sind laut Klaus Helmrich, Industrievorstand von Siemens, die Grundvoraussetzung vieler Anwendungen von Industrie 4.0.¹¹⁰ Die dafür erforderliche digitale Infrastruktur sollte hohe Bitraten ermöglichen, da der mobile Datenverkehr in den nächsten Jahren weiter exponentiell zunehmen wird (siehe Abbildung 25).¹¹¹ Um die Eignung dieser Infrastruktur für Industrie-4.0-Anwendungen zu beurteilen, zählt aber mehr als nur die Bandbreite. Wichtig ist außerdem die Unterstützung vieler Endgeräte, sodass in der Produktion möglichst viele vernetzte Geräte in einem bestimmten Areal den Zugangspunkt störungsfrei nutzen können. So wird sich zum Beispiel die Anzahl der Machine-to-Machine-Module bis 2025 verglichen mit 2015 mehr als versechsfachen (siehe Abbildung 25). Ferner zählen zur Leistungsfähigkeit eine möglichst flächendeckende Verfügbarkeit sowie eine geringe Latenz. Im Idealfall sollte die Verzögerung beim Senden eines Datenpakets von der Quelle zum Ziel, insbesondere im Bereich lokaler Industrieanwendungen, eine Millisekunde oder kürzer sein.

Abbildung 25: Entwicklung des Netzbedarfs und der Anzahl vernetzter Geräte in Deutschland

	2015	2020	2025
Mobiler Datenverkehr in PB/Monat	53	345	2257
Pro-Kopf-Datenverkehr in GB/Monat	19	43	99
Machine-to-Machine Module in Mio.	170	433	1100
PCs in Mio.	50	53	57
Tablets in Mio.	20	27	36
Smartphones in Mio.	64	95	143
Connected TVs in Mio.	68	114	191

Quelle: Fraunhofer FOKUS

Diese Voraussetzungen für Industrie 4.0 erfüllen als digitale Infrastruktur nur Glasfaserleitungen und der aktuellste Mobilfunkstandard 5G. Zwar nutzen einige Unternehmen auch Industrie-4.0-Anwendungen mit dem Mobilfunkstandard LTE/4G, das volle Potenzial kann aber erst mit 5G realisiert werden.¹¹² LTE/4G ist noch zu träge und weist eine zu hohe Latenz auf, sodass die Echtzeitfähigkeit nicht gegeben ist. Roboter und Maschi-

¹¹⁰ Vgl. Höpner / Scheuer (2019).

¹¹¹ Vgl. DIHK (2017), Fraunhofer FOKUS (2016), Höpner / Scheuer (2019).

¹¹² Vgl. Delhaes / Scheuer / Tyborski (2019), Höpner / Scheuer (2019).

nen übernehmen bei einem Einsatz von LTE/4G in der Produktion nur lästige oder einfache Aufgaben, die nicht zeitkritisch sind. Insofern ist laut Achim Berg, Präsident des Branchenverbandes Bitkom, 5G eine Schlüsseltechnologie für den Industriestandort Deutschland.¹¹³ Diese Technologie ist die Basis für die intelligente Fabrik und bringt so neuen Schub für die deutsche Industrie.



Stefan Fritz (Osram)

Zustand der digitalen Infrastruktur in Deutschland

Die digitale Infrastruktur genügt in zahlreichen Regionen Deutschlands nicht den heutigen Anforderungen. Ein Beispiel ist die Kommunikation während der Autofahrt. Hier ist manchmal selbst ein Telefonat nicht möglich, vom größeren Datenaustausch ganz abgesehen. Dies ist nicht nur in ländlichen Gegenden der Fall. Selbst bei einer Fahrt über die Autobahn von München nach Stuttgart käme es bereits kurz hinter München zum ersten Abreißen der Verbindung, etliche weitere Störungen würden noch folgen.

Während die digitale Infrastruktur in den Ballungszentren noch in einem akzeptablen Zustand ist, wird sie zwischen den Zentren sehr vernachlässigt. Dort gibt es keine zufriedenstellende Netzabdeckung, zum Teil gibt es ganze „weiße Flecken“. Eine umfassende Abdeckung ist jedoch essenziell.

Gibt es hier keine Verbesserungen, erwächst daraus ein volkswirtschaftlicher Nachteil, da beispielsweise das wirtschaftliche Potenzial nicht vollständig gehoben werden kann. Unternehmen, die zunehmend auf eine moderne digitale Infrastruktur angewiesen sind, können so außerhalb von Ballungszentren nicht das gesamte Leistungspotenzial realisieren. Davon ist auch Osram betroffen, deren Fabriken historisch bedingt auch in ländlichen Regionen angesiedelt sind.

Eine digitale Infrastruktur in einem schlechten Zustand beschränkt auch die Möglichkeiten zum mobilen Arbeiten bzw. zum Homeoffice. Ist die verfügbare Bandbreite mangelhaft, können die Mitarbeiter von zu Hause oder unterwegs nicht mit den Kollegen im Unternehmen kommunizieren oder auf die Daten zugreifen. Dies wiederum hat negative Auswirkungen auf die Work-Life-Balance der Mitarbeiter.

113 Vgl. Bitkom (2019a).

Anforderungen seitens der Industrie für die künftige Infrastruktur

Der aktuelle 4G-Standard mit Latenzzeiten von 20 bis 40 Millisekunden deckt viele der Anforderungen ab, die Anwendungen in der Fläche benötigen. Dazu gehören beispielsweise die beim mobilen Arbeiten wichtigen Videochats. Bei zeitkritischen Anwendungen, wozu die künftigen Anwendungen in der Industrie gehören, werden allerdings Latenzzeiten von einer Millisekunde und geringer benötigt. Das macht 5G erforderlich. Gleiches gilt auch für Anwendungen im Bereich Virtual oder Augmented Reality.

Osram hat zum Beispiel zusammen mit der Deutschen Telekom in einer Fabrik im Frühjahr 2019 zur Deckung des Bedarfs das erste Campus-Netzwerk in Deutschland eingerichtet. Da die 5G-Frequenzen zu Beginn noch nicht verfügbar waren, läuft es zuerst noch mit einem 4G-Kern. Deshalb ist der erste Use-Case für das Netz der autonome Betrieb eines Transportfahrzeugs, der nicht zeitkritisch ist. Ziel ist allerdings der Betrieb eines 5G-Netzes für die entsprechenden Anwendungen. Aber nicht alle Anwendungen erfordern ein drahtloses Netzwerk. Manches lässt sich auch mit einem kabelgebundenen Netzwerk umsetzen, wofür allerdings ein Glasfaseranschluss benötigt wird.

Bei zeitkritischen Themen nutzt Osram außerdem eine Edge Cloud in der Fabrik, um die Rechenleistung direkt vor Ort mit einer direkten Verbindung zu haben.

Nächste Schritte beim Ausbau der digitalen Infrastruktur

Ähnlich wie das Fundament bei einem Haus ist ein flächendeckendes 4G-Netz die Grundlage für modernes und mobiles Arbeiten. Ziel des weiteren Ausbaus muss die Sicherstellung dieser Grundlage sein. Zugleich benötigen Industrieunternehmen für die Transformationen hin zu einer Smart Factory eine Versorgung mit 5G, dies allerdings nicht überall in der Fläche, sondern zuerst an den jeweiligen Standorten.

In jedem Fall muss der Ausbau schneller vonstattengehen. Hier ist Deutschland noch zu langsam. Ein Ansatzpunkt dafür wären die Planungs- und Genehmigungsverfahren, beispielsweise die langwierigen Genehmigungen von Mobilfunkstandorten.

Potenzial mit der digitalen Infrastruktur

Glasfaser und 5G sind die Basis für die Smart Factory sowie die grundsätzliche Vernetzung in und zwischen den Unternehmen. Dadurch lassen sich Produktivitäts- bzw. Effizienzsteigerungen realisieren. Bisher gab es immer nur Optimierung der einzelnen

Schritte entlang der Wertschöpfungskette, wobei sich die Verbesserungen asymptotisch einem Grenzbereich nähern. Nun lässt sich jedoch ein zusätzliches Potenzial mit der Optimierung des Zusammenspiels aller Wertschöpfungsschritte realisieren. Beispielsweise hat Osram allein mit dem ersten, noch auf 4G aufsetzenden Use-Case Kosteneinsparungen realisiert. Weitere Einsparungen konnten mit den Erkenntnissen aus Big-Data-Analysen erzielt werden. Und die Entwicklung befindet sich hier noch ganz am Anfang.

Ein weiterer Vorteil eines 5G-Netzes ist die Möglichkeit zum Retrofit bestehender, unvernetzter Anlagen. Sensoren machen diese Anlagen „smart“, und dort entstehende Daten werden so verfügbar. Um den Aufwand zu minimieren, sollten die Sensoren dabei drahtlos sein, was dementsprechend eine Mobilfunkversorgung bedingt.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Stefan Fritz.

Stefan Fritz ist Vice President des Bereichs AM Manufacturing Prematerials & Digital Factory bei der OSRAM GmbH.

Neben 5G oder allgemein Mobilfunk kommt zwar auch WLAN als Übertragungstechnologie in Frage. Nach Ansicht von Antje Williams, Senior Vice President 5G Campus Networks der Deutschen Telekom, ist Mobilfunk allerdings WLAN oft überlegen.¹¹⁴ So lässt sich mit Mobilfunk relativ einfach das Problem lösen, dass beispielsweise Roboter beim Wechsel der Funkzelle stillstehen. Außerdem sind Störungen mit privaten Geräten der Mitarbeiter ausgeschlossen, da die Mobilfunkfrequenzen lizenziert sind.

Trotz dieser Bedeutung von Mobilfunk und perspektivisch 5G für Industrie 4.0 gaben 55 Prozent der befragten Unternehmen in einer Umfrage des Branchenverbandes Bitkom unter Industrieunternehmen mit 50 und mehr Mitarbeitern an, dass 5G für sie aktuell kein Thema ist.¹¹⁵ Aktuell planen nur 42 Prozent der Industrieunternehmen eine Versorgung mit 5G, entweder über den Netzbetreiber oder eigenverantwortlich mit den lokal nutzbaren Frequenzen. Der Aufbau in Eigenverantwortung ist aber nur in Einzelfällen geplant, sodass hier viele der reservierten Frequenzen erst einmal nicht genutzt werden. Insgesamt gaben nur 49 Prozent der befragten Unternehmen an, dass eine künftige Verfügbarkeit von 5G für sie wichtig ist. Bei Unternehmen mit 2.000 und mehr Beschäftigten ist dieser Anteil mit 66 Prozent etwas größer.

Wenn auch die Unternehmen den Bedarf noch als nicht dringend wahrnehmen, macht der Wandel in der industriellen Produktion hin zu Industrie 4.0 einen Ausbau und die Weiterentwicklung der digitalen Infrastruktur erforderlich. Die Anforderungen, die

114 Vgl. Kapalschinski (2019).

115 Vgl. Bitkom (2019a).

Industrie 4.0 mit sich bringt, können zur Gänze nur mit einem Glasfaser- und 5G-Netz abgedeckt werden. Die Versorgung mit dieser Infrastruktur sollte flächendeckend in Deutschland erfolgen.¹¹⁶ Um das volkswirtschaftliche Potenzial vollständig zu erschließen, darf der Ausbau nicht nur die Ballungsgebiete umfassen, sondern muss die ländlichen Regionen einschließen, in denen 75 Prozent der Arbeitsplätze in der Industrie angesiedelt sind.

Eine Unterscheidung verschiedener Szenarien ist bei der industriellen Produktion nicht in gleicher Weise möglich wie im Fall der Mobilitätsthemen. Im Sinne des normativen Szenarios wäre der Anspruch an die künftige digitale Infrastruktur, möglichst zeitnah eine flächendeckende Versorgung mit Glasfaser und 5G in Deutschland zu gewährleisten. So könnte schnell das vollständige Potenzial der neuen Möglichkeiten in der industriellen Produktion realisiert werden. Da jedoch einige Anwendungen der Industrie 4.0 auch mit dem bestehenden Mobilfunkstandard LTE/4G möglich sind, würde der Bedarf im Sinne des linearen Szenarios bedeuten, zuerst einmal die digitale Infrastruktur in diesem bestehenden Standard auszubauen.

Bei der industriellen Produktion lässt sich nicht wirklich ein grünes Szenario mit Blick auf die digitale Infrastruktur¹¹⁷ aufstellen, da der Klimaschutzaspekt bei der industriellen Produktion im Wesentlichen mit dem Thema Energie zusammenhängt, welches in dieser Studie nicht betrachtet wird. Insofern hat das Thema Klimaschutz in diesem Bereich wenig Auswirkungen auf den hier betrachteten Infrastrukturbedarf. Am ehesten ließe sich das grüne Szenario noch mit dem normativen Szenario gleichsetzen, da die Industrie 4.0 über Effizienzsteigerung und der damit verbundenen Ressourceneinsparung ebenfalls ein Potenzial zum Klimaschutz birgt.¹¹⁸ Dementsprechend würde ein Infrastrukturausbau, der eine schnelle Realisierung des vollständigen Potenzials von Industrie 4.0 ermöglicht, auch in dieser Hinsicht bestmöglich dem Klima- und Umweltschutz dienen.

4.5 E-GOVERNMENT

Ein zentraler Bereich, mit dem jeder Akteur der Wirtschaft und Gesellschaft in Kontakt kommt, ist die öffentliche Verwaltung. Während Deutschland in früheren Zeiten einmal als Vorbild bei der öffentlichen Verwaltung galt, werden heutzutage vielfache Defizite beklagt.¹¹⁹

116 Vgl. DIHK (2017), Expertengespräch mit Klaus Deutsch.

117 Eine industrielle Produktion benötigt auch im Rahmen der Logistik auch eine Verkehrsinfrastruktur. Der hier entstehende Bedarf wird jedoch im Kapitel 4.3 näher betrachtet.

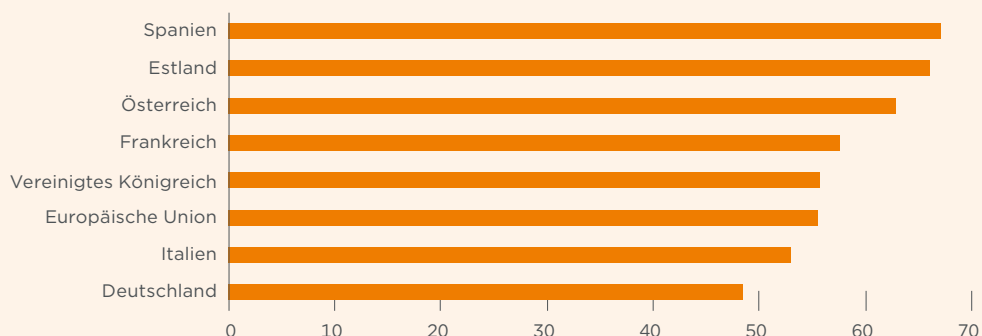
118 Vgl. Gerbert et al. (2018).

119 Vgl. Koch / Neuerer (2019).

STATUS QUO BEI E-GOVERNMENT IN DEUTSCHLAND

Im europäischen Vergleich hat Deutschland einen Rückstand beim Thema E-Government. Der Digitalisierungs-Rückstand ist nicht nur gegenüber kleinen Ländern wie Österreich und Estland beträchtlich, auch hinter dem Spitzenreiter Spanien sowie weiteren Ländern wie Großbritannien, Frankreich und Italien bleibt Deutschland im europäischen Vergleich zurück (siehe Abbildung 26).

Abbildung 26: EU-Digitalisierungsindex E-Government 2019
Indexwert von 0 bis 100



Quelle: Europäische Kommission

Gerade Österreich ist ein Pionier der digitalen Verwaltung und kann aufgrund einer ähnlichen Rechtsordnung und föderalen Verwaltungsstruktur durchaus als Vorbild für Deutschland dienen.¹²⁰ So nutzten in Österreich 70 Prozent der Bürger E-Government-Angebote, während es in Deutschland lediglich 48 Prozent sind – zumindest mit leicht zunehmender Tendenz.¹²¹ Eine Begründung für die zurückhaltende Entwicklung in Deutschland ist, dass zu wenige Verwaltungsabläufe durchgehend online möglich seien und E-Government noch zu wenig aus der Sicht der Bürger gedacht und entwickelt werde.¹²² Eines der wenigen funktionierenden Angebote ist die elektronische Steuererklärung ELSTER, eine gemeinsame Plattform aller deutschen Steuerverwaltungen.¹²³

Die Politik hat sich allerdings vorgenommen, das E-Government-Angebot nicht nur deutlich auszubauen, sondern die Nutzung dieser Angebote auch spürbar zu erhöhen, z. B. durch eine elektronische Aktenführung (E-Akte). Grundlage dafür ist das

120 Vgl. Bertelsmann (2017a).

121 Vgl. Initiative D21 / fortiss (2019).

122 Vgl. Initiative D21 / fortiss (2018).

123 Vgl. von Braunmüller / Klein (2019).

Onlinezugangsgesetz von 2017, das in § 1 vorschreibt, dass die öffentliche Hand spätestens 2022 ihre Verwaltungsleistungen auch elektronisch über Verwaltungsportale anbietet und diese Verwaltungsportale zu einem Portalverbund verknüpft. Durch die intelligente Verknüpfung der Verwaltungsportale von Bund, Ländern und Kommunen sowie das Log-in über ein sicheres „Single-Sign-On-Verfahren“ sollen die Bürger per Smartphone oder Computer mit nur drei „Klicks“ an die für sie zuständige Stelle gelangen können.

Eine Verbesserung dieser Situation und eine Modernisierung der öffentlichen Verwaltung ist in erster Linie über eine Digitalisierung ihres Dienstleistungsangebots möglich – im Idealfall mutiert sie zum Smart Government oder E-Government, wobei beide Begriffe synonym verwendet werden. Unter E-Government versteht man Informationen und Dienste von Behörden und öffentlichen Einrichtungen, die über das Internet angeboten und genutzt werden.¹²⁴

Grundlage des Ausbaus des digitalen Dienstleistungsangebots sind Investitionen in die Modernisierung der digitalen Infrastruktur, insbesondere im Bereich der IT. Es bedarf einer kompatiblen föderalen E-Government-Infrastruktur. Deutschland ist ein föderaler Bundesstaat mit drei Verwaltungsebenen: Bund, Länder und Gemeinden. Bürger und Unternehmen kommen mit staatlichem Verwaltungshandeln in erster Linie auf kommunaler Ebene in Kontakt, da die Städte und Gemeinden für die Umsetzung der allermeisten Gesetze und Verordnungen zuständig sind.

Auf der kommunalen Ebene dominieren dezentrale IT-Lösungen, die Gemeinden nach ihren Bedürfnissen entwickelt bzw. implementiert haben. Eine Ausnahme von der Regel ist das in Bayern von der „Anstalt für Kommunale Datenverarbeitung“ entwickelte Bürgerservice-Portal, das von 1.300 Gemeinden genutzt wird.¹²⁵ Eine einheitliche föderale IT-Architektur existiert bisher nicht. Dabei ist die Harmonisierung der IT-Landschaft und die erfolgreiche Einbindung der Vielzahl unterschiedlicher kommunaler Verwaltungsportale in einen Verbund Voraussetzung für den Erfolg der E-Government-Anstrengungen.

Diesen Herausforderungen stellt sich die Bundesregierung bereits. Um teure Parallel- und Doppelentwicklungen zu vermeiden, wenn künftig über Verwaltungsgrenzen hinweg zusammengearbeitet werden soll, hat sie eine Nationale E-Government-Strategie beschlossen, in deren Rahmen der neu geschaffene IT-Planungsrat als zentrales Gremium für die föderale Zusammenarbeit in der Informationstechnik fungiert.¹²⁶

124 Vgl. Initiative D21 / fortiss (2018).

125 Vgl. Stiebel (2019).

126 Vgl. IT-Beauftragter des Bundes (2019).

Auf der Infrastrukturebene besteht die wichtigste Aufgabe des Planungsrats darin, sicherzustellen, dass die IT-Systeme der einzelnen Gebietskörperschaften kompatibel und damit grundsätzlich interoperabel sind. „Die Technologien müssen sich an der föderalen Struktur Deutschlands orientieren und gleichzeitig auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden, der gemeinsames E-Government ermöglicht“.¹²⁷ Das Bundesland Hamburg stellt die Basis-Infrastruktur von seinem alten Hamburg-Gateway auf die neue Online Service Infrastruktur (OSI) um. Andere Bundesländer wollen noch 2019 folgen.¹²⁸ Dadurch könnte sich ein Standard etablieren.

Eine weitere Voraussetzung für die Implementierung von E-Government-Prozessen ist eine hohe Leistungsfähigkeit der digitalen Infrastruktur – mobil und leitungsgebunden –, die einen zuverlässigen und sicheren Austausch immer größerer Datenmengen mit wachsender Geschwindigkeit erlaubt. Die Fortschritte auf diesem Gebiet haben die E-Government-Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten entscheidend beeinflusst (siehe Abbildung 27).

Abbildung 27: Zusammenhang der Entwicklung des Internets und des E-Governments

Web 5.0	Taktils Internet	Netzwerkcommunication nahezu in Echtzeit	Real-Time Government
Web 4.0	Internet der Dinge & Internet der Dienste	Smart Objekte, Cyber-physische Systeme	Smart Government
Web 3.0	Internet der Daten, Semantisches Web	Linked Data, Open Data, Big Data, Big Data Analytics	Open Government Data
Web 2.0	Internet der Menschen, Internet zum Mitmachen	Netzwerkcommunication über Social Media	Open Government
Web 1.0	Internet der Systeme, World Wide Web	Netzwerkcommunication über das World Wide Web	Electronic Government

Quelle: von Lucke (2018)

Die Entwicklung verlief vom „Electronic Government“ in der Anfangsphase über „Open Government“ und „Open Government Data“ bis zum „Smart Government“ der Gegenwart. Smart Government wird dabei definiert als „Regierungs- und Verwaltungshandeln mit Hilfe von intelligent vernetzten Informations- und Kommunikationstechniken in seiner ganzen Breite“.¹²⁹ Damit die Möglichkeit zum „Real-Time Government“, d. h. Verwaltungshandeln in Echtzeit auf der E-Government-Plattform, gegeben ist, sind Latenzzeiten im Millisekunden-Bereich erforderlich. Notwendig dafür ist ein gigabitratiges Breitbandnetz sowie die neue 5G-Mobilfunktechnik.

¹²⁷ Bertelsmann Stiftung (2017a).

¹²⁸ Vgl. Stiebel (2019).

¹²⁹ von Lucke (2018).

4.6 ABLEITUNG DES INFRASTRUKTURBEDARFS

Nachdem erörtert wurde, welche Anforderungen sich aus den betrachteten Bereichen für die Verkehrsinfrastruktur und digitale Infrastruktur ergeben, gilt es nun zu klären, inwieweit die Infrastruktur diesen Anforderungen heute schon gerecht wird bzw. falls nicht, inwiefern die Infrastruktur ausgebaut oder weiterentwickelt werden muss.

Maßgeblich für die Verkehrsinfrastruktur – Straße, Schiene, Binnenwasserstraßen – ist die Entwicklung des Verkehrsaufkommens. Vergleicht man die verschiedenen Prognosen (siehe Kapitel 4.2 und 4.3) mit dem aktuellen Verkehrsaufkommen (siehe Abbildungen 28 und 29) – die jüngsten Zahlen stammen aus 2017 –, zeigt sich, dass der Personen- wie auch der Güterverkehr bis 2030 weiter zunehmen wird. Dies ist ebenso der Fall bei einer Prognose des grünen Szenarios. Unter Umständen wird die Auslastung der Verkehrsinfrastruktur auch dann steigen, wenn die Klimaschutzziele erreicht werden. Besonders stark nimmt die Auslastung der Schiene zu.

Nun ist aber die Verkehrsinfrastruktur bereits mit der heutigen Nutzung in vielen Teilen überlastet und es kommt zu Engpässen (siehe Kapitel 3.1 und 3.2). Dazu kommt der teilweise schlechte Zustand, insbesondere der Brücken, der die Kapazität weiter einschränkt. Aus diesem Grund ist eine Kapazitätserweiterung zwingend erforderlich, damit die Verkehrsinfrastruktur für die Zukunft gerüstet ist, d. h. die künftige Mobilität aufnehmen kann. Diese Erweiterung kann über zwei Wege erfolgen: Erstens steigert ein Neu- und Ausbau der Straßen und Schienen deren Kapazität. Zweitens kann mittels Maßnahmen die Kapazität des bestehenden Systems weiter erhöht werden.

Bei der Straße ist ein weiterer Ausbau allerdings nur begrenzt möglich. Das Straßennetz ist in Deutschland bereits sehr engmaschig.¹³⁰ Darüber hinaus wird ein weiterer Ausbau immer mehr durch Bürgerproteste und Klagen verzögert oder sogar ganz gestoppt.¹³¹ Insofern gibt es kein wirkliches Potenzial zum Ausbau, das über die Beseitigung der Engpassstellen, die eine Priorität des Bundesverkehrswegeplan 2030 ist, großartig hinausgeht.¹³²

Insofern muss, damit das Straßennetz die künftige Personen- und Gütermobilität aufnehmen kann, die Kapazität des aktuellen Netzes gesteigert werden. Das geschieht im Wesentlichen über eine effizientere Verkehrssteuerung sowie intelligente bzw. digitale Straßensysteme.¹³³ Ausgangspunkt wären kooperative Systeme, bei denen die Fahrzeuge untereinander und mit der Infrastruktur (z. B. Signalanlagen, Zufluss-Regelungsanlagen) kommunizieren. Die dabei ausgetauschten Informationen dienen zur effizienteren Steuerung des gesamten Verkehrs mit einer größeren Straßenkapazität als Resultat.

¹³⁰ Vgl. Expertengespräch mit Oliver Luksic.

¹³¹ Vgl. Expertengespräch mit Gerhard Hillebrand.

¹³² Vgl. Expertengespräch mit Elfriede Sauerwein-Braksiek.

¹³³ Vgl. Trapp et al. (2017), Expertengespräch mit Elfriede Sauerwein-Braksiek.

Abbildung 28

Personenlandverkehr 2017 – Verkehrsleistung in Milliarden Personenkilometer nach Verkehrsträger



Motorisierter Individualverkehr

950,44



Bus

81,39



Zug

95,76

GESAMT

1.127,59

Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Abbildung 29: Güterverkehr 2017

Verkehrsleistung in Milliarden Tonnenkilometer nach Verkehrsträger



LKW

491



Zug

129,9



Binnenschiff

55,5

GESAMT

676,4

Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

**Elfriede Sauerwein-Braksiek (Straßen.NRW)**

In Nordrhein-Westfalen ist die Straßeninfrastruktur bereits heute völlig überlastet. Die Überlastung zeigt sich unter anderem daran, dass Staus nicht nur in den üblichen Berufsverkehrszeiten auftreten, sondern die Straßen ganztägig überlastet sind. Das Verkehrsaufkommen, insbesondere der Güterverkehr, wird in den kommenden Jahren weiter ansteigen. Prognosen zufolge wird das Güterverkehrsaufkommen 2030 um fast 40 Prozent größer sein als noch 2010.

Dieser wachsenden Belastung sind insbesondere viele Brücken nicht gewachsen. Viele von ihnen wurden in den 1960er und 70er Jahren gebaut, als die LKWs im Güterverkehr 24 Tonnen schwer waren. Heute wiegen sie 44 Tonnen, sodass die Brücken eigentlich ganz anders dimensioniert sein müssten.

Hinzu kommt der genehmigungsfähige Schwerverkehr, also LKWs mit einem noch höheren Gewicht. Vor acht Jahren wurden in Nordrhein-Westfalen 75.000 Anträge für genehmigungsfähigen Schwerverkehr gestellt, im vergangenen Jahr gab es schon an die 200.000 Anträge. Gerade diese Fahrzeuge belasten die Straßen und vor allem Brücken extrem stark. Die heutige Straßeninfrastruktur kann diese Bedürfnisse, insbesondere auch das steigende Aufkommen, nicht befriedigen.

Für den Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen ergeben sich daraus zahlreiche Aufgaben, die im Bundesverkehrswegeplan aufgelistet sind. Priorität hat dabei ein Engstellen-Beseitigungs-Programm. Hier geht es um den Ausbau von besonders stauanfälligen Abschnitten, von Autobahnkreuzen und den wichtigsten Hauptachsen.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Instandhaltung der Brücken. Zwei Drittel der Brücken in NRW müssen verstärkt oder ganz neu gebaut werden.

Die Straßen selbst sind hingegen in relativ gutem Zustand. Aufgaben des Landesbetriebs ist daher im Wesentlichen der Ausbau des Autobahnnetzes bzw. die Erweiterung bestehender Autobahnen um eine zusätzliche Fahrspur.

Ausbaubedürftig ist auch das untergeordnete Straßennetz abseits der Autobahnen, also die Bundes- und Landstraßen. Eine gute Verkehrsanbindung ist für die Wirtschaft und die Bevölkerung aber in allen Teilen des Landes von großer Bedeutung.

Ein wesentliches Problem bei dem Ausbau und der Instandhaltung ist nicht die Baukapazität wie in vielen anderen Teilen der Wirtschaft. Vielmehr stellen die langen Planungsprozesse eine Herausforderung dar. Der Infrastrukturausbau ist sehr langwierig und bürokratisiert. Würden die verschiedenen Prozesse, die im Rahmen der Baugenehmigung notwendig sind, besser verzahnt, könnten Verfahren deutlich beschleunigt werden. Denkbar wären Lösungen im Bereich des E-Governments, wie etwa digitale Plattformen anstatt Papier. Anträge könnten so zeitgleich von den beteiligten Behörden geprüft und genehmigt werden.

Mit dem neuen Planungsbeschleunigungsgesetz des Bundes wurden die Klagemöglichkeiten zwar eingeschränkt, doch besteht im Planungsbereich noch weiteres Potenzial. So könnten zum Beispiel die Vorgaben gelockert werden, wenn das Projekt ein reiner Ersatzneubau ist, bei dem nur ein „eins zu eins“-Austausch stattfindet und keine Erweiterung.

Auch sollte eine Lösung dafür gefunden werden, dass man nicht die gesamte Planung neu aufsetzen muss, wenn sich im Planungszeitraum beispielsweise die Umweltauflagen ändern.

Effizienzreserven gibt es auch bei der Planung von Radschnellwegen. Hier ist das gleiche Verfahren notwendig, das für den Bau einer Landesstraße oder Autobahn konzipiert wurde. Gerade beim Bau von umweltfreundlichen Lösungen wie einem Radschnellweg sollten die Planungsvorgaben anders sein als beim herkömmlichen Straßenbau.

Zur Planungsbeschleunigung gehört ebenfalls das Thema Öffentlichkeitsbeteiligung, die früh erfolgen sollte. Auch heute schon werden erhebliche Anstrengungen unternommen, um geplante Vorhaben den Menschen zu kommunizieren.

Die Schwierigkeit dabei ist, dass die Menschen als Verkehrsteilnehmer erwarten, dass sie sicher und schnell irgendwo hinkommen. Als Anwohner fordern sie jedoch wenig Lärm und Abgase. Digitale Möglichkeiten können bei der Bürgerbeteiligung helfen.

Der Ausbau des Straßennetzes kann jedoch nicht die alleinige Antwort auf das steigende Verkehrsaufkommen bleiben. Vielmehr muss auch die Kapazität des bisherigen Systems erhöht werden. Digitale Technologien bieten hierfür Potenzial.

Telematische Einrichtungen wie Verkehrs-Beeinflussungs-Anlagen könnten helfen, Verkehrsströme besser zu steuern. Bei Zufluss-Regelungs-Anlagen ist NRW führend in

Deutschland. Dies sind Signalanlagen, die den Verkehr nur dosiert auf die Autobahn lassen. Der Verkehr wird also nicht zurückgehalten, sondern Bremsvorgänge sollen reduziert werden, um so Staus zu vermeiden.

Potenzial, die Kapazität von Straßen zu erhöhen, bieten auch kooperative Systeme, bei denen Fahrzeuge mit Infrastruktur kommunizieren. Ein Pilotprojekt hier ist KoMoD – kooperative Mobilität im digitalen Testfeld Düsseldorf. Ein weiterer Pilotversuch eventuell im Aachener Bereich ist in der Planung.

Dennoch befindet sich diesbezüglich die Entwicklung in Deutschland noch in den Anfängen und müsste eigentlich schneller vorangehen.

Das bedeutet beispielsweise auch, dass die Lichtzeichenanlagen, deren aktueller technischer Stand veraltet ist, modernisiert werden müssen. Künftig sollen die Anlagen mit den Fahrzeugen kommunizieren, sodass die Fahrzeugsteuerung die Information bekommt, wie die Geschwindigkeit sein muss, um bei Grün anzukommen.

Ein weiteres Beispiel für ein kooperatives System wären Sicherunganhänger für Baustellen, die die Information senden, dass eine Baustelle eingerichtet wird und wie lange sie besteht. Damit wissen die Fahrzeuge, welche Straße gesperrt ist oder wo es aufgrund eingeschränkter Verkehrsführung zu einem Stau kommen kann. Diese Informationen können dann bei der Routenplanung berücksichtigt werden.

Eine Verzögerung für die Entwicklung in Deutschland verursachen insbesondere fehlende Standards. Es gibt keine einheitlichen Schnittstellen. Für die Kommunikation stehen WLAN und Mobilfunk zur Auswahl. Solche Sachen müsste man dringend festlegen. Dies ist auch wichtig, da festgelegte Standards die Voraussetzung dafür sind, dass der Bund die finanziellen Ressourcen bereitstellt.

Des Weiteren lässt sich die Kapazität des bestehenden Straßennetzes mittels autonomen Fahrens erhöhen, zum Beispiel LKW-Kolonnen beim Platooning. In NRW wäre dies allerdings angesichts enger Anschlussstellen und häufigen Spurwechselvorgängen schwierig umzusetzen. Platooning eignet sich mehr für große freie Strecken. Am Ende kommt man aber auch hier zum gleichen Thema zurück: Das System ist überlastet.

Eine Lösung für diese Überlastung wäre eine stärkere Verteilung der Mobilität über die verschiedenen Verkehrsträger. Womöglich können Radschnellwege hier eine entscheidende Rolle spielen, beispielsweise der RS 1 von Duisburg nach Hamm. Solche Fahrradautobahnen können für viele Menschen mit E-Bikes ein wichtiger Verkehrsweg werden.

Radschnellwege spielen mit Blick auf Lastenfahrräder unter Umständen künftig auch eine kleine Rolle beim Güterverkehr. Ziel für die Zukunft sollte sein, dass die Bürger beispielsweise an passenden Übergabestationen von der Straße auf die Schiene, in den ÖPNV oder aufs Fahrrad umsteigen können.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Elfriede Sauerwein-Braksiek.

Elfriede Sauerwein-Braksiek ist Direktorin von Straßen.NRW, dem Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen. Außerdem ist sie Vorsitzende der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

Um der künftigen Mobilität Herr zu werden, muss insofern das Straßennetz digital werden, sprich um digitale Infrastruktur wie ein Kommunikationsnetz erweitert werden. Dazu gehört ein breitbandiges Fest- und Mobilfunknetz. Glasfaserkabel allein ohne die passende oberirdische Mobilfunkinfrastruktur reichen nicht aus. Dies erfordert ebenfalls die Aufrüstung der physischen Infrastruktur, sodass beispielsweise Signalanlagen vernetzt sind.¹³⁴

Ähnlich ist die Situation im Schienennetz. Gerade im Bereich der Gütermobilität wird der Bedarf an Transport über die Schiene – insbesondere aus Klimaschutzgründen – stark zunehmen. Angesichts der bestehenden Überlastungen ist ein weiterer Ausbau des Schienennetzes notwendig. Dieser fängt an mit einer Engpassbeseitigung an neuralgischen Bahnknoten wie Frankfurt am Main, Hamburg, Köln, München und Nürnberg.¹³⁵ Außerdem sollte das Schienennetz für größere Zuglängen ausgelegt sein, was im Güterverkehr wichtig ist. Die aktuelle Kapazität der Ausweich- und Überholmöglichkeiten begrenzt die Zuglänge auf maximal ungefähr 600 Meter. Im Bundesverkehrsministerium ist dazu bereits der Plan gefasst, im gesamten Netz eine Zuglänge von 740 Metern zu ermöglichen.¹³⁶ Dies ist erforderlich, um das erwartete Güterverkehrsaufkommen über die Schiene abzuwickeln. Allerdings ist die Umsetzung dieses Plans bisher eher verhalten.¹³⁷ Von den 75 geplanten Maßnahmen sind aktuell nur drei realisiert worden.

Eine Maßnahme, um die Schieneninfrastruktur im Hinblick auf den Klimaschutz zukunftsfähig zu machen, ist die vollständige Elektrifizierung des Schienennetzes. Dazu müssten die etwa 16.000 Kilometer – bisher nicht elektrifizierte – Schienen mit Oberleitungen versorgt werden.

In Sachen Ausbau steht das Schienennetz allerdings vor den gleichen Herausforderungen wie das Straßennetz. Das Netz ist bereits sehr engmaschig, dazu kommen Bürgerproteste und Klagen. Insofern ist ebenfalls beim Schienennetz eine Kapazitätssteigerung des bestehenden Systems ein wesentlicher Hebel, um das Netz auf die künftigen Anfor-

134 Vgl. Fokusgruppe IM (2017).

135 Vgl. Gerbert et al. (2018).

136 Vgl. BMVI (2017).

137 Vgl. Schlautmann (2019).



derungen vorzubereiten. Ein zentraler Baustein dafür ist die „digitale Schiene“.¹³⁸ Mit diesem Projekt der Deutschen Bahn sollen Tausende Züge mehr pro Tag möglich werden.¹³⁹ Laut Ronald Pofalla, Infrastrukturvorstand der Deutschen Bahn, kann mit der digitalen Schiene die Kapazität des bestehenden Netzes um bis zu 35 Prozent gesteigert werden. Möglich wird dies durch eine dichtere Zugfolge bzw. geringere Abstände, ohne Einbußen bei der Sicherheit. Die digitale Schiene besteht im Grunde aus zwei Komponenten:¹⁴⁰ Erstens aus einer Digitalisierung der Stellwerke, die zum Teil bis zu 100 Jahre alt sind. Dazu müssen unter anderem die etwa 3.500 Stellwerke und die rund 235.000 Stelleinheiten an ein Glasfasernetz angebunden werden. Zweitens umfasst die digitale Schiene die Einführung des European Train Control System (ETCS) als einheitlichen Standard zur Zugsicherung und -beeinflussung. ETCS ermöglicht im Zugverkehr geringere Abstände und damit eine größere Auslastung eines bestimmten Schienenabschnitts als das bisherige Verfahren des Streckenblocks.

Die Deutsche Bahn hat das Ziel, die digitale Schiene bis zum Jahr 2040 aufzubauen. Damit verbunden sind allerdings Kosten allein für die Infrastruktur von etwa 28 Milliarden Euro. Angesichts der Prognosen führt an der digitalen Schiene jedoch kein Weg vorbei, da mittels Netzausbau diese Kapazitätserweiterung nicht möglich ist.¹⁴¹

138 Vgl. Deutsche Bahn (2018).

139 Vgl. Delhaes (2019c), Deutsche Bahn (2018), dpa (2019).

140 Vgl. Deutsche Bahn (2018), McKinsey (2018).

141 Vgl. Gerbert et al. (2018).

Die digitale Schiene wäre allerdings zugleich eine erste wichtige Grundlage für autonomen bzw. automatisierten Zugverkehr, worüber wiederum die Kapazität noch weiter erhöht werden kann.¹⁴²

Aus den genannten Weiterentwicklungen der Verkehrsinfrastruktur folgen auch einige Anforderungen an die digitale Infrastruktur, ohne die beispielsweise die Kapazitätserweiterung und damit die Aufnahmefähigkeit des Verkehrsnetzes für die künftige Mobilität nicht möglich ist. So muss für die digitale Schiene das komplette Schienennetz mit Glasfaser versorgt werden. Beim Straßennetz erfordert die Erweiterung der Kapazität ebenfalls eine Versorgung der Verkehrsbereiche mit Mobilfunk und dementsprechend Glasfaser. Wichtig ist, nicht nur an die Glasfaserversorgung zu denken, sondern auch für die passende Mobilfunkinfrastruktur zu sorgen. Im Hinblick auf das autonome Fahren genügt dafür erst einmal noch der LTE/4G-Standard. Perspektivisch sollte aber dann das Verkehrsnetz, beginnend mit den Autobahnen, mit 5G versorgt werden.¹⁴³

Diese Anforderung an die digitale Infrastruktur deckt sich mit den Anforderungen aus dem Bereich der industriellen Produktion (siehe Kapitel 4.4): Flächendeckende Versorgung mit einem Glasfaser- und 5G-Netz in Deutschland.

Wenn die flächendeckende Versorgung aufgebaut wird, sollte sie in jedem Fall so flächendeckend sein, dass die Binnenwasserstraßen mit abgedeckt werden. Heutzutage werden die Flüsse und Kanäle häufig nicht mitberücksichtigt, wenn die Standorte und Ausrichtung von Sendemasten geplant werden.¹⁴⁴ Eine Digitalisierung der Binnenwasserstraßen, wofür die Netzaufdeckung benötigt wird, ist wichtig, um deren Kapazität zu erhöhen. Zwar wird die Gütermobilität auf dem Wasser nicht so stark zunehmen wie auf der Schiene, aber sie wird steigen (siehe Kapitel 4.3). Eine Möglichkeit, die Kapazität der Flüsse und Kanäle zu erhöhen, bietet ein besseres Schleusenmanagement.¹⁴⁵ Die Kapazität der Binnenwasserstraßen wird begrenzt durch die Durchlasskapazität der Schleusen. Diese bilden das Nadelöhr. Mittels Geofences, also virtuellen Grenzen, deren Übertreten eine Aktion auslöst, kann diese Durchlasskapazität gesteigert werden. Die Binnenschiffe kommunizieren dabei automatisch mit den Schleusen (Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation). In angemessener Entfernung meldet das Schiff seine Ankunft vor und löst damit die weiteren Planungsprozesse aus. Dabei wird die Schleusenkette optimiert – unter anderem auf Basis der Geschwindigkeit der jeweiligen Schiffe – und die Wartezeit für die einzelnen Schiffe wird reduziert.

142 Vgl. McKinsey (2018), Mortsiefer (2019).

143 Die EU-Rechtsverordnung, die den Fokus zuerst auf WLAN gelegt hätte, hatte die Möglichkeiten zum späteren Schwenk auf den Mobilfunk als Standard beinhaltet (vgl. Delhaes, 2019d).

144 Vgl. Ninnemann et al. (2019).

145 Vgl. Ninnemann et al. (2019), Trapp et al. (2017).



Dr. Klaus Deutsch (BDI)

Für Deutschland ist grundsätzlich festzuhalten, dass in den letzten 15 Jahren die Investitionsausgaben der öffentlichen Hand für öffentliche Infrastruktur auf der Ebene des Gesamtstaates deutlich zu niedrig lagen. Daraus resultierte eine ganze Reihe von Schwierigkeiten für die wirtschaftliche Aktivität in Deutschland. Zwar ist die Quote der öffentlichen Investitionen zuletzt von 2 auf 2,4 Prozent gestiegen, was allerdings immer noch zu niedrig ist. Deutschland sollte vielmehr eine Quote von 3 Prozent anstreben. Außerdem müsste die Investitionsquote, die nun 15 Jahre unter dem Zielwert von 3 Prozent gelegen hat, wahrscheinlich für eine 15- bis 20-jährige Phase über diesem Wert liegen, um die Erosion des Kapitalstocks im öffentlichen Bereich zu beenden.

Digitale Infrastruktur in Deutschland

Deutschland benötigt eine digitale Infrastruktur, die sich dadurch auszeichnet, dass flächendeckend Gigabitnetze vorhanden sind. Für das Festnetz müssen Glasfaserleitungen möglichst bis ins Haus und in die Wohnungen oder eine vergleichbar leistungsfähige Kabelinfrastruktur (Docsis 3.1) vorhanden sein. Im Bereich des Mobilfunks sollten 4G- bzw. 5G-Netze deutschlandweit gegeben sein. So ist für Industrieunternehmen gerade im Hinblick auf Industrie 4.0 und eine stärkere Vernetzung in der Produktion 5G der entscheidende Hebel, um die Produktivität und Ressourceneffizienz zu erhöhen und die Produktion flexibler zu gestalten. Zahlreiche Studien zeigen allerdings, dass Deutschland sowohl beim Glasfaserausbau als auch beim Mobilfunkausbau einen der hinteren Plätze im internationalen Vergleich belegt, was für eine Industrienation nicht tragfähig ist.

Daneben ist ein starkes Stadt-Land-Gefälle zu beobachten, was verheerend ist, da 70 Prozent der Arbeitsplätze in der Industrie auf dem Land angesiedelt sind. Insofern ist ein stärkerer Netzausbau (Glasfaser oder Docsis 3.1, 4G und perspektivisch 5G) in ländlichen Regionen zwingend erforderlich.

Verkehrsinfrastruktur in Deutschland

Die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland weist in verschiedenen Dimensionen Rückstände auf. Einerseits kommt das Land dem benötigten Ausbau der transeuropäischen Netze im Bereich Straße und Schiene nicht in der Geschwindigkeit hinterher, wie es bei

den Nachbarn zu beobachten ist. Daraus erwachsen dann enorme Kapazitätsengpässe, beispielsweise auf der Südschiene oder der Verbindung zum Brenner. Andererseits gab es in Deutschland bei den Verkehrsträgern Straße, Schiene und Wasserstraße jahrelang einen Stau bei den Erhaltungsinvestitionen. Erst in der zweiten Hälfte der Amtsperiode von Alexander Dobrindt begann der Abbau dieses Staus. So weist der Bundesverkehrswegeplan 2030, der 2015 veröffentlicht wurde, geplante Investitionsmittel aus, die rund 56 Prozent über dem Niveau des Bundesverkehrswegeplans von 2003 liegen. Außerdem wird nun ein stärkerer Fokus auf Erhaltungsinvestitionen gelegt.

Und auch im Schienenbereich gibt es einen Zuwachs bei den geplanten Investitionen des Bundes, der sich auf 65 Prozent beläuft. Laut aktueller Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung zwischen dem Bund und der Deutschen Bahn wird der Bund in den Jahren 2020 bis 2029 jährlich 6,8 Milliarden Euro in den Betrieb und Erhalt des bundeseigenen Eisenbahnnetzes investieren. In den vorherigen fünf Jahren waren es nur 5,6 Milliarden Euro pro Jahr. Insofern ist das Problem erkannt, allerdings erst mit Verzögerung. Denn das Niveau der Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur, die mit dem Bundeshaushalt 2017/2018 erreicht wurde, hatte der BDI schon für 2011/2012 gefordert.

Eine solche Steigerung der Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur ist auch dringend notwendig, da beispielsweise der Güterverkehr künftig noch weiter zunehmen wird, wie es die Verflechtungsprognose 2030 – Grundlage des aktuellen Bundesverkehrswegeplans – verdeutlicht. Man muss sogar mit noch mehr Verkehrszuwachs rechnen, da die Zahlen der Prognose schon wieder überholt sind. So sind die Annahmen zum wirtschaftlichen Wachstum und dem demografischen Wandel zu pessimistisch ausgefallen. Außerdem wurden die Verflechtungseffekte in Europa nicht berücksichtigt. Des Weiteren müssen die Infrastrukturen aller Verkehrsträger künftig auch digitaler werden. Ein Beispiel hierfür ist die Schiene. Dadurch könnten die Effizienz, Verlässlichkeit, Pünktlichkeit und so auch die Planbarkeit gesteigert werden, wodurch sich die Logistikfähigkeit der Schiene verbessert. So wissen Unternehmen zum Beispiel in 95 Prozent der Fälle heutzutage noch nicht, wo sich ein bestimmter Güterwagen im Netz befindet. Mit dem Projekt „Digitale Schiene“ geht die Deutsche Bahn zwar die Digitalisierung der Schiene an. Der Gesamtmittelbedarf hierfür von rund 32 Milliarden Euro, den eine Machbarkeitsstudie ermittelt hat, ist in der mittelfristigen Finanzplanung des Bundes allerdings noch nicht berücksichtigt.

Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur

Ein Ansatzpunkt ist die richtige Priorisierung der Projekte, die ganz klar auf Erhalt und

Beseitigung von Engpassstellen liegen muss. In der Vergangenheit ist allerdings viel Geld beispielsweise in Umgehungsstraßen geflossen, die zwar wünschenswert und zu befürworten waren, da sie die Lebensqualität steigerten. Dies hat dem deutschen Verkehrsnetz in kapazitiver Hinsicht jedoch wenig gebracht.

Dann sollte in Deutschland die Fähigkeit zu Großprojekten verbessert werden. Hier geht es zum Beispiel um die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren. So ist der Nordzulauf zum Brenner Basistunnel selbst im besten Fall erst in 15 bis 20 Jahren fertig. Dabei sind Klagen und Gerichtsverfahren noch nicht berücksichtigt. Zwar wurden erste Schritte zur Beschleunigung bereits unternommen, es gibt aber noch weiteres Potenzial. So wird im Koalitionsvertrag ein Maßnahmengesetz erwähnt. Hierbei würden Genehmigungsverfahren durch parlamentarische Beschlüsse verkürzt. Der Bundestag debattiert über Infrastrukturgroßprojekte und schafft Baurecht mittels parlamentarischen Beschlusses. Des Weiteren sollte das Niveau der öffentlichen Investitionsmittel nicht aus den Augen verloren werden. Zwar könnte diese natürlich noch höher ausfallen, viel wichtiger ist allerdings, das jetzige Niveau zu halten. Bauunternehmen, Kommunen und Länder sollten sich an einem Zufluss von Investitionsmittel orientieren können, der permanent vorhanden ist und mittelfristig nicht abreißt. Erst mit dieser Planungssicherheit können notwendige Kapazitäten ausreichend vorgehalten werden.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Klaus Deutsch.

Klaus Deutsch ist Leiter der Abteilung „Research, Industrie- und Wirtschaftspolitik“ beim BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie.

Die digitale Infrastruktur ist nicht nur wichtig für die Anwendungen, die originär auf ihr aufsetzen, sondern sie ist darüber hinaus dafür essenziell, dass die Verkehrsinfrastruktur für die Personen- und Gütermobilität von morgen gerüstet ist. In Zukunft wird sich die Mobilität auch in die dritte Dimension ausdehnen. Mobilitätsstrategien werden künftig den niedrigen Luftraum zunehmen mit einbeziehen (z. B. Drohnen für Güter).¹⁴⁶ Dadurch können Engpässe im bodengebundenen Verkehr umgangen werden. Die Steuerung der Drohnen kann dabei im niedrigen Luftraum mittels des Mobilfunknetzes auf dem Boden erfolgen.

Neben diesen erwähnten Aspekten zum Ausbau und zur Kapazitätssteigerung der Verkehrsinfrastruktur und digitalen Infrastruktur dürfen die Investitionen in den Erhalt des bestehenden Systems nicht vernachlässigt werden. Jahrelang war die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland unterfinanziert, sodass die Substanz aufgezehrt wurde.¹⁴⁷

¹⁴⁶ Vgl. Schlott (2019).

¹⁴⁷ Vgl. BDI (2015a), Eisenkopf (2018), Kunert / Link (2013), Puls (2018).

Viele Jahre hat die öffentliche Hand weniger als 11 Milliarden Euro pro Jahr in die Verkehrsinfrastruktur investiert. Der Bedarf für den Erhalt lag allerdings bei etwa 14 Milliarden Euro pro Jahr. Im Zeitraum von 2006 bis 2011 wurden im Durchschnitt rund 4 Milliarden Euro zu wenig pro Jahr investiert. Aus dieser Unterfinanzierung resultiert ein zusätzlicher jährlicher Investitionsbedarf von etwa 6,5 Milliarden Euro für nachzuholende Erhaltungsmaßnahmen.¹⁴⁸ Beispielsweise müssen bis 2030 an die 10.000 kommunale Straßenbrücken ersetzt werden, was Kosten von 16 Milliarden Euro verursacht.¹⁴⁹ Ähnlich sieht das Bild bei den Eisenbahnbrücken aus. Laut der Eisenbahn- und Verkehrsgewerkschaft (EVG) beläuft sich der Sanierungsstau bei der Instandhaltung von Gleisen, Brücken, Stellwerken und Bahnhöfen inzwischen auf etwa 57 Milliarden Euro.¹⁵⁰

Insofern ist positiv zu beurteilen, dass der Bund den Fokus mittlerweile auf Erhalt und Engpassstellenbeseitigung legt.¹⁵¹ Die dafür notwendigen Maßnahmen des Bundesverkehrswegeplans müssen jetzt nur noch umgesetzt werden. Der Erhalt wird in Zukunft immer wichtiger werden, zum Beispiel angesichts eines weiter zunehmenden Straßengüterverkehrs. So belastet ein 40-Tonnen-LKW einen Straßenabschnitt genauso stark wie 60.000 passierende PKWs.¹⁵²



148 Vgl. Kunert / Link (2013).

149 Vgl. BDI (2015a).

150 Vgl. Fockenbrock (2019b).

151 Vgl. BMVI (2016/2017) Eisenkopf (2018).

152 Vgl. BAst (2006).

Potenzial der künftigen Infrastruktur in Deutschland für Wirtschaft und Gesellschaft

05

Eine Verkehrsinfrastruktur und digitale Infrastruktur, die den künftigen Anforderungen (siehe Kapitel 4) genügt und in diesem Sinne für die Zukunft gerüstet ist, stellt zugleich eine Basis für Wirtschaftskraft, Wohlstand und sozialen Ausgleich dar. Im Rahmen dieser Studie erfolgt eine Annäherung an das Potenzial der Infrastruktur für Wirtschaft und Gesellschaft durch eine Betrachtung der Potenziale der mit der Infrastruktur möglichen Anwendungen.

5.1 POTENZIAL FÜR DIE WIRTSCHAFT

Eine adäquate Verkehrsinfrastruktur ist die essenzielle Grundlage dafür, dass in Zukunft Mobilität, insbesondere der Güter, möglich ist. Nur dadurch ist der Handel und die Logistik in zunehmend über Unternehmensgrenzen hinweg vernetzten Wertschöpfungsketten möglich.¹⁵³ Wenn darüber hinaus die Verkehrsinfrastruktur eine ausreichende Kapazität aufweist, verringert dies das Stauaufkommen und steigert so die Pünktlichkeit der Lieferungen. Unternehmen können dann die Lieferketten mit weniger Pufferzeiten planen.¹⁵⁴

Ein Potenzial gerade für den Straßengüterverkehr stellt ebenfalls das mit der digitalen Infrastruktur mögliche automatisierte bzw. autonome Fahren dar. Speditionen können das sogenannte Platooning bei ihren Fahrzeugen nutzen.¹⁵⁵ Dabei fahren zwei oder mehr LKWs zusammen in einem Konvoi, bei dem das erste Fahrzeug von einem Menschen gesteuert wird, alle weiteren LKWs werden teilautonom in geringem Abstand „hinterhergezogen“. Mit den damit einhergehenden geringeren Abständen zwischen den Fahrzeugen steigt die Kapazität der Straße.¹⁵⁶ Da zudem die Bremssignale zeitgleich an alle Fahrzeuge übertragen werden, nimmt trotz geringerem Abstand die Sicherheit zu und die Unfallzahlen sinken.¹⁵⁷ Des Weiteren sparen die Fahrzeuge durch das Windschattenfahren im Zuge der geringen Abstände sowie der konstanteren Fahrweise durch den stetigen Austausch der Brems- und Beschleunigungssignale Kraftstoff. Dies führt zu geringeren Kosten für die Speditionen. Weitere Kosten können dadurch eingespart werden, dass Unternehmen mit dem Platooning weniger Fahrer benötigen.¹⁵⁸

Der Güterverkehr wird mit dem Platooning darüber hinaus klimafreundlicher, da analog mit dem Kraftstoffverbrauch auch die Emissionen von Treibhausgasen sinken.¹⁵⁹ Die Emissionen verringern sich bei den hinteren Fahrzeugen um 16 Prozent und beim Führungsfahrzeug um 8 Prozent.

153 Vgl. Zukunftsinstitut (2017).

154 Vgl. Grömling / Puls (2018).

155 Vgl. Bennühr (2019), Hubik (2019).

156 Vgl. ACEA (2016, 2017).

157 Vgl. ACEA (2016, 2017), Beutelsbacher (2017).

158 Vgl. Kirchbeck (2018).

159 Vgl. ACEA (2016, 2017).

Das Potenzial des autonomen Fahrens insgesamt deckt sich größtenteils mit dem Nutzen des Platoonings (siehe Kapitel 5.2). Falls das autonome Fahren bis 2030 in Deutschland komplett mit Level 3 und Elementen von Level 4 ausgerollt wird, ergeben sich monetäre Einsparungen durch die aufgezählten Aspekte in Höhe von etwa 8,3 Milliarden Euro pro Jahr.¹⁶⁰ Eine serienmäßige Einführung von autonomen Fahren gemäß Level 4 resultiert in Einsparungen von rund 15 Milliarden Euro pro Jahr.



Nick Kriegeskotte (Bitkom)

Zustand der digitalen Infrastruktur in Deutschland

Der Zustand der digitalen Infrastruktur in Deutschland ist besser als ihr Ruf. Im Bereich Festnetz sind ungefähr 70 Prozent der Haushalte mit Kabelanschluss versorgt. Dazu kommt eine nahezu flächendeckende Versorgung mit DSL. Zusätzlich existieren in einzelnen regionalen Clustern bereits Glasfasernetze bis in die Häuser.

Im Mobilfunk ist eine relativ gute LTE-Abdeckung gegeben, zwar noch nicht flächendeckend, aber zumindest in den Städten. So werden aktuell etwa 98 Prozent der Haushalte mit LTE erreicht.

Insgesamt können mit diesem Stand der digitalen Infrastruktur die Anforderungen vieler Bürger und Unternehmen erfüllt werden.

Dennoch gibt es Verbesserungspotenzial. In internationalen Vergleichsrangings liegt Deutschland meist nur im Mittelfeld. Dazu gehört die Glasfaserversorgung der Haushalte, die noch nicht auf einem zukunftsfesten Niveau ist. Ferner gibt es noch Lücken bei der Breitbandversorgung im ländlichen Raum. Rund ein Drittel der Haushalte verfügt nicht über Anschlüsse, mit denen Geschwindigkeiten von mindestens 16 Mbit/s möglich sind. Dies stellt bereits mit Blick auf heutige Anforderungen (z. B. Streaming) einen Mangel dar. Allerdings wird dieser Mangel mit Förderprogrammen gezielt angegangen. Jedoch dauert es, bis diese größeren Glasfaserprojekte tatsächlich umgesetzt sind und sich auch in den Rankings widerspiegeln.

160 Vgl. Kirchbeck (2018).

Anforderungen an die künftige Infrastruktur

Im privaten Bereich spielt das Streaming von Bewegtbildern, insbesondere mit hoher Auflösung wie HD oder 4K, eine große Rolle. Diese erfordern eine große Bandbreite. Gleichzeitig muss der Anschluss dafür gerüstet sein, dass mehrere Mitglieder des Haushalts ihre vernetzten Geräte nutzen, was den Bandbreitenbedarf erhöht. Im Bereich Homeoffice und auch für Cloud-Anwendungen oder Videotelefonie werden hohe Anforderungen an die Internetverbindung gestellt. Beim Gaming umfassen die Anforderungen neben großer Bandbreite ebenso geringe Latenzzeiten, gerade dann, wenn künftig verstärkt auf Virtual Reality gesetzt wird.

Viele dieser Anforderungen können bereits mit der heutigen Infrastruktur größtenteils abgedeckt werden. Dennoch muss das Ziel sein, gigabitfähige Infrastrukturen zu schaffen, um dem absehbar steigenden Bedarf gerecht werden zu können.

Prioritäten beim weiteren Ausbau

Im Festnetz sollte die Priorität zunächst darauf liegen, eine flächendeckende Versorgung mit schnellen Breitbandanschlüssen zu gewährleisten. Der Ausbau sollte sich insofern zuerst auf die „weißen Flecken“ im ländlichen Raum konzentrieren. Dies hat auch mit Blick auf gleichwertige Lebensverhältnisse Priorität.

Beim Mobilfunk wäre eine zweigleisige Strategie sinnvoll. Dazu gehört der Ausbau der möglichst flächendeckenden Versorgung mit LTE sowie ein Aufbau des 5G-Netzes beginnend in den Ballungszentren bzw. Orten mit großer Nachfrage. So spielt 5G besonders dort eine seiner Stärken aus, wo viele Nutzer gleichzeitig auf eine Mobilfunkzelle zugreifen. Anders als bei LTE wirkt sich eine zeitgleiche Nutzung weniger auf die verfügbare Bandbreite aus.

Um den Anforderungen der Industrie gerecht zu werden, bedarf es einer Glasfaserversorgung der Gewerbegebiete bzw. Industriestandorte sowie einer Abdeckung dieser Gebiete mit 5G. Im Bereich der industriellen Steuerung hat 5G wegen seiner geringen Latenzzeit großes Potenzial für die Unternehmen.

Verbesserungsmöglichkeiten beim aktuellen Ausbau

Für den Ausbau im Festnetz sind bereits zahlreiche Förderprogramme aktiv. Auch wenn dadurch „weiße Flecken“ verschwinden sollen, ist im Festnetzbereich eher zu viel als zu wenig Fördergeld vorhanden. Das Kernproblem sind jedoch die fehlenden Baukapazi-

täten. Statt weiterer Gelder können hier vor allem neue, einfachere Verlegetechniken und vermehrte oberirdische Kabelverlegung den Ausbau beschleunigen. Im Mobilfunkbereich gilt es nun nach der 5G-Frequenz-Versteigerung dafür Sorge zu tragen, dass der Ausbau möglichst schnell voranschreitet. Dies kann dadurch unterstützt werden, dass staatliche Grundstücke als Standort für Mobilfunkanlagen den Netzbetreibern im besten Fall kostenfrei zur Verfügung gestellt werden.

Maßgeblich sollte weiterhin jenes regulatorische Ziel sein, das Kooperationen zwischen Unternehmen bei gleichzeitigem Infrastrukturwettbewerb ermöglicht. Bereits heute ist es Praxis, dass die Netzbetreiber Standorte gemeinsam nutzen bzw. sich gegenseitig vermieten. Dieser Infrastrukturwettbewerb mit kommerziellen Vereinbarungen ist lokalen Monopolen vorzuziehen, die potenziell in der Regel immer mit der Frage eines Regulierungsbedarfs einhergehen.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Nick Kriegeskotte.

Nick Kriegeskotte ist Leiter Infrastruktur & Regulierung bei Bitkom – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien.

Allerdings kann es auch sein, dass diese Erwartungen etwas zu hoch ausfallen, denn in ersten Tests konnte Daimler mittels Platooning keine Einsparungen beim Kraftstoff realisieren.¹⁶¹

Die digitale Infrastruktur stellt auch weit über das autonome Fahren hinaus ein großes Potenzial für die Wirtschaft dar. Die mit ihr mögliche Vernetzung birgt erhebliche Investitions-, Wachstums- und Innovationseffekte.¹⁶² Zum Tragen kommt dies insbesondere dann, wenn ein Land eine Pionierrolle bei neuer digitaler Infrastruktur einnimmt und in dieser Hinsicht zu einem Leitmarkt wird.¹⁶³ Falls ein Land „First Mover“ bei einer neuen Mobilfunkgeneration ist, kann es sich verschiedene Vorteile verschaffen. Dazu gehören das Setzen von Standards sowie eine führende Rolle bei neuen Services und Geschäftsmodelle, die auf die neue Mobilfunkgeneration aufsetzen, sodass die gesamte Industrie (Marktpotenzial, Arbeitsplätze) stimuliert wird. Eine solche Rolle hatte Europa bei der zweiten und dritten Mobilfunkgeneration und die USA bei der vierten.

Die digitale Infrastruktur ist darüber hinaus der Ausgangspunkt für die digitale Transformation der Unternehmen, die mit wirtschaftlichen Potenzialen auf drei Ebenen einhergeht: Prozess, Produkt und Geschäftsmodell.¹⁶⁴

¹⁶¹ Vgl. Bennühr (2019), Hubik (2019).

¹⁶² Vgl. Knauth (2016).

¹⁶³ Vgl. DIB (2019).

¹⁶⁴ Vgl. Commerzbank (2017), Jung et al. (2016), Keese (2016).

Ein Potenzial auf der Produktebene sind erstens kürzere Produktlebenszyklen. Ebenso können zweitens auf Basis digitaler Technologien analoge durch digitale Produkte ersetzt werden. Neben dieser Substitution besteht drittens die Möglichkeit, analoge Produkte zu sogenannten „Smart Products“ weiterzuentwickeln. Dazu werden in bestehende Produkte digitale Bauteile wie Sensoren verbaut, um neue Funktions- und Servicemöglichkeiten anzubieten. Smart Products sind zudem eine neue Datenquelle. Neu verfügbare Daten können von Dienstleistungsunternehmen für neue Angebote genutzt werden. So können Unternehmen auf Basis digitaler Technologien ferner ganz neue Produkte und Dienstleistungen entwickeln.¹⁶⁵ Oftmals ist das Vorhandensein der dafür benötigten digitalen Infrastruktur die Grundvoraussetzung (siehe Kapitel 2.2.5). Beispielsweise entwickelte sich der Markt für 4G/LTE-Anwendungen wie Spotify oder Instagram erst, als das Netz aufgebaut war.¹⁶⁶

Der Wandel auf der Produktebene geht dementsprechend mit Veränderungen des Geschäftsmodells einher. Das Potenzial im Bereich neuer Geschäftsmodelle ist vielfältig. So können Unternehmen bestehende Geschäftsmodelle um neue Produkte und Dienstleistungen auf Basis digitaler Technologien erweitern. Dabei lassen sich die Produkte und Dienstleistungen stärker auf die individuellen Kundenwünsche zuschneiden.¹⁶⁷ Ebenso können die Unternehmen gezielt „Mehrwertlösungen“ anbieten, wo bestehende Produkte um passende Dienstleistungen ergänzt werden. Dies können neue Wartungs- und Reparaturdienstleistungen sein (Commerzbank, 2017). Ein Beispiel dafür ist Predictive Maintenance, bei der Unternehmen Daten über den Zustand von Maschinen auswerten und drohende Ausfälle im Muster erkennen, wodurch eine Maschine repariert werden kann, noch bevor sie ausfällt.



¹⁶⁵ Vgl. Bloching et al. (2015), Campus Mittelstand (2015), Demary et al. (2016), Geissbauer et al. (2014), Koch et al. (2014), Ludwig / Köhler (2018), Manyika et al. (2015), Parviainen et al. (2017), Prognos (2016).

¹⁶⁶ Vgl. Kapalschinski (2019).

¹⁶⁷ Vgl. Prognos (2016).

Außerdem können Unternehmen ihren Kunden neue Verwertungsmodelle wie „... as a Service“, „Pay per Use“ oder „Physical Freemium“ anbieten.¹⁶⁸ Beim „... as a Service“ oder „pay per use“ zahlen die Kunden nicht mehr für das Produkt selbst, sondern bezahlen nur dessen Nutzung. Und beim „Physical Freemium“-Modell bekommen die Kunden die Produkte mit einer rudimentären Grundfunktionalität zu einem geringen Preis. Möchte der Kunde im Anschluss aber Zusatzfunktionen nutzen, muss er dieses Update kostenpflichtig nachordern. Alle erforderlichen Hardwarekomponenten sind von Anfang an im Gerät vorhanden, die Software wird dann beim Update ergänzt. Diese Zusatzfunktionen können auch nur für einen bestimmten Zeitraum „gemietet“ werden. Nach der Mietdauer deaktiviert sich die Funktion selbständig.

Mit neuen Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen können Unternehmen einmalige Umsätze durch einen stetigen Zahlungsstrom ersetzen und die Kunden erhalten einen Zusatznutzen, der ihre Zufriedenheit steigert.¹⁶⁹ Darüber hinaus bieten die neuen Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle den Unternehmen die Möglichkeit, neue Märkte und Kundengruppen zu erschließen.¹⁷⁰ Zum einen verringern sich im digitalen Zeitalter die Markteintrittsbarrieren.¹⁷¹ Mit neuen Vertriebskanälen können die Unternehmen zum anderen ihre Kundenreichweite steigern.¹⁷²

Im Zuge der digitalen Transformation können Unternehmen außerdem ihre Marktmacht vergrößern.¹⁷³ So ermöglicht der Einsatz digitaler Technologien sowie der darauf basierenden neuen Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle den Unternehmen, sich von ihren Wettbewerbern zu differenzieren.¹⁷⁴ Gerade wenn die Angebote, z. B. eine Verknüpfung von Produkten und Dienstleistungen, für die Kunden sehr exklusiv und wenig standardisiert sind, erhöhen sich damit die Wechselkosten und so die Bindung für die Kunden.¹⁷⁵ Anschließend können die Unternehmen dann diese höhere Marktmacht nutzen, um ihren Marktanteil auszubauen.

Auf der Prozessebene resultiert aus der digitalen Transformation ein Potenzial zur Effizienzsteigerung.¹⁷⁶ Für diese Effizienzsteigerungen gibt es verschiedene Gründe. So können die Unternehmen mit besseren Prognosen und einer schnelleren sowie flexibleren Prozesssteuerung Belastungsspitzen und Unterauslastungen vermeiden.¹⁷⁷ Neben einer gleichmäßigeren Auslastung realisieren die Unternehmen zusätzlich einen höheren

168 Vgl. Commerzbank (2017), Manyika et al. (2015).

169 Vgl. Geissbauer et al. (2014), Parviainen et al. (2017).

170 Vgl. Demary et al. (2016), EY (2016), KantarTNS / ZEW (2017, 2018).

171 Vgl. Bloching et al. (2015), Marcol (2016).

172 Vgl. Stangarone (2016).

173 Vgl. Hüther (2016).

174 Vgl. Bauernhansl (2018), Esser (2014).

175 Vgl. Hüther (2016).

176 Vgl. Aliche et al. (2016), Bauer et al. (2014), Bauernhansl (2018), Bitkom (2015), BMAS (2017), BMWi (2016), Chui et al. (2017), Demary et al. (2016), Düll (2016), etventure (2018), Geissbauer et al. (2014, 2016), Giersberg (2017), Ludwig / Köhler (2018), Prognos (2016), Roland Berger (2016), Russo (2016), Stangarone (2016), Tüllmann et al. (2016), Weber et al. (2017), Zimmermann (2017).

177 Vgl. Demary et al. (2016).



Auslastungsgrad bei ihren Maschinen.¹⁷⁸ Laut einer Simulation von Roland Berger kann ein Automobilzulieferer mittels Digitalisierung seinen Auslastungsgrad von 65 auf 90 Prozent steigern.

Aber nicht nur der Auslastungsgrad der Maschinen nimmt zu, sondern ebenfalls deren Nutzungszeiten. Die Effizienzsteigerung in den Unternehmen, insbesondere aus dem produzierenden Bereich, kommt auch darin zum Ausdruck, dass sich die Maschinenausfälle verringern.¹⁷⁹ So können die Unternehmen über die Erkenntnisse aus Datenanalysen, die mittels Sensoren in den Maschinen möglich sind, Fehler sowie Ausfälle präventiv vermeiden und Wartungen im Sinne von Predictive Maintenance durchführen, bevor der nächste Ausfall eintritt. Zugleich wird der Umgang mit Ausfällen optimiert, wodurch sich insgesamt die Reparaturzeit verringert.

So profitiert auch die Deutsche Bahn bzw. die DB Netz AG von der digitalen Schiene, da diese eine Ferndiagnose über Weichenschäden oder Hindernisse ermöglicht. Damit verringert sich der Wartungsaufwand und steigt die Zuverlässigkeit des Netzes.¹⁸⁰

Unternehmen können mit solchen digitalen Möglichkeiten Maschinenausfallzeiten um 30 bis 50 Prozent verringern¹⁸¹, ungeplante Stillstände reduzieren sie sogar um bis zu 70 Prozent.¹⁸² Infolgedessen verbessert sich die Anlagenverfügbarkeit.¹⁸³

178 Vgl. BMWi (2016), Roland Berger (2016), Russo (2016).

179 Vgl. Bauer et al. (2014), Caylar et al. (2016), Chui et al. (2017), Kinkel et al. (2016), Ludwig / Köhler (2018), McKinsey (2015), Michel / Schäfer (2017), Roland Berger (2016), Weber et al. (2017).

180 Vgl. DB (2018), Kuhn / Flocke (2019).

181 Vgl. Caylar et al. (2016), McKinsey (2015).

182 Vgl. Michel / Schäfer (2017).

183 Vgl. Kinkel et al. (2016).

Zum Ausdruck kommt die Effizienzsteigerung darüber hinaus in einem sinkenden Ressourcenverbrauch, den die Unternehmen durch den Einsatz digitaler Technologien erreichen.¹⁸⁴ Ein geringerer Energieverbrauch kann mittels Digitalisierung besonders in energieintensiven Industrien erreicht werden.

Ferner führt die Digitalisierung der Prozessebene dazu, dass die Komplexität von Prozessen abnimmt, wodurch wiederum die Effizienz zunehmen kann. Insgesamt können Unternehmen durch den Einsatz digitaler Technologie eine Effizienzsteigerung von durchschnittlich 4,1 Prozent pro Jahr erzielen.¹⁸⁵

Unternehmen können mittels Digitalisierung aber nicht nur ihre Effizienz steigern, sondern ebenfalls die Qualität ihrer Produkte.¹⁸⁶ So können der Ausschuss bei der Produktion und die Fehlerquote minimiert werden. In Deutschland kann bereits gut die Hälfte der Unternehmen (52 Prozent) die Qualität von Produkten bzw. Angeboten steigern.¹⁸⁷



184 Vgl. Bauer et al. (2014), Bauernhansl (2018), BMWi (2016), Caylar et al. (2016), Demary et al. (2016) Giersberg (2017), Koch et al. (2014), Manyika et al. (2015).

185 Vgl. Geissbauer et al. (2016).

186 Vgl. Bloching et al. (2015), Coleman Parkes (2016), Henke et al. (2016), KantarTNS / ZEW (2018), Küpper et al. (2016), Ludwig / Köhler (2018), Parviainen et al. (2017), Prognos (2016), Waser (2015), Weber et al. (2017).

187 Vgl. KantarTNS / ZEW (2018).

Eng verbunden mit dem Thema Effizienz ist das Thema Produktivität. Auch hier zeigt sich ein positiver Effekt der digitalen Technologien. Unternehmen können mittels Digitalisierung ihre Produktivität steigern.¹⁸⁸ Der Prozess der Produktivitätssteigerung läuft bei den Unternehmen über mehrere Kanäle:¹⁸⁹

- 1. Ein Kanal ist die Steigerung der Kapitalproduktivität. Hierbei ist die Annahme relevant, dass digital vernetzte Maschinen mehr leisten als ihre analogen Pendanten. Außerdem wirken sich die größere Flexibilität, die Möglichkeit zur Optimierung in Echtzeit, die bessere Auslastung sowie die geringeren Ausfallzeiten ebenfalls positiv auf die Produktivität aus.**
- 2. Des Weiteren sollte die Arbeitsproduktivität zunehmen. Einerseits werden Tätigkeiten, die vorher von Menschen ausgeführt wurden, nun von produktiveren Computern und Maschinen übernommen. Andererseits können die Beschäftigten durch die Zusammenarbeit mit vernetzten Computern und Maschinen ihre Fähigkeiten stärken und besser ausnutzen. Ferner kann im Zuge der Digitalisierung die Motivation der Beschäftigten und so auch ihre Leistung zunehmen, beispielsweise wenn sie durch Roboter von „lästigen“ Routinetätigkeiten befreit werden.¹⁹⁰**
- 3. Der dritte Kanal ist die Erhöhung der Faktorproduktivität, die unter anderen im Zuge der Prozessoptimierung auf Basis von Big Data zunimmt.¹⁹¹**

Dabei zeigen verschiedene Befragungen, dass die Unternehmen im Durchschnitt infolge der digitalen Transformation eine Steigerung der Produktivität von 18 bis 26 Prozent erwarten.¹⁹² Andere Prognosen sind etwas verhaltener optimistisch: Rüßmann et al. (2015) rechnen für das verarbeitende Gewerbe in Deutschland mit einer Produktivitätssteigerung bis 2025 von 5 bis 8 Prozent. Weitere Prognosen für die deutsche Gesamtwirtschaft liegen bei 3 bis 12 Prozent.¹⁹³

Im Zuge der Produktivitäts- und Effizienzsteigerungen resultiert für die Unternehmen aus der digitalen Transformation ferner ein zusätzliches Bruttowertschöpfungspotenzial.¹⁹⁴ Die verschiedenen Studien und Prognosen weisen allerdings für die genaue Höhe dieses Potenzials sehr unterschiedliche Werte aus. Je nach Studie liegt das mit der Digitalisierung für die Unternehmen in Deutschland bis 2025 zusätzlich erreichbare Bruttowertschöpfungspotenzial zwischen 20 und 603 Milliarden Euro.

188 Vgl. Accenture (2016), Bauernhansl (2018), BMAS (2015), BMAS (2017), Caylar et al. (2016), Coleman Parkes (2016), Costa (2018), Demary et al. (2016), Gensrich (2017), Höpner (2017), Hüther (2016), Manyika et al. (2015), McKinsey (2015), Mohr et al. (2017), Niegsch (2016), Prognos (2016), Roland Berger (2016), Rüßmann et al. (2015), Russo (2016).

189 Vgl. Jung et al. (2016, 2017).

190 Vgl. Bitkom (2015), Campus Mittelstand (2015), Menn (2018), Parviainen et al. (2017).

191 Vgl. Mohr et al. (2017).

192 Vgl. Geissbauer et al. (2014), McKinsey (2015).

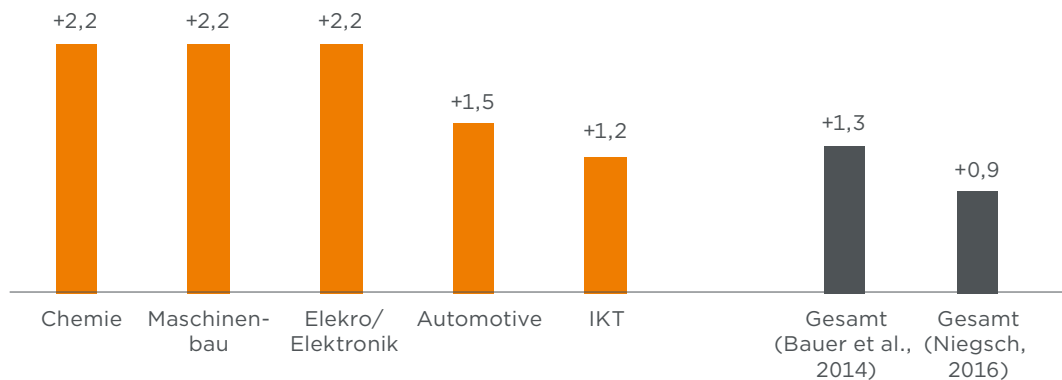
193 Vgl. Caylar et al. (2016), McKinsey (2015), Niegsch (2016).

194 Vgl. Bauer et al. (2014), Bloching et al. (2015), Demary et al. (2016), Mohr et al. (2017), Niegsch (2016), Zimmermann (2017).

Die durchschnittliche jährliche Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung allein resultierend aus der digitalen Transformation könnte laut Niegsch (2016) einen Wert von 0,9 Prozent aufweisen, Bauer et al. (2014) prognostizieren sogar ungefähr 1,3 Prozent. Dieses Potenzial ist dabei durchaus von Branche zu Branche verschiedenen (siehe Abbildung 30). So können laut den Prognosen Unternehmen aus den Branchen Chemie, Maschinenbau und Elektro/Elektronik im Schnitt durch die Digitalisierung sogar eine zusätzliche Steigerung der Bruttowertschöpfung von etwa 2,2 Prozent pro Jahr realisieren.

Abbildung 30: Bruttowertschöpfung in Deutschland – Potenzial der Digitalisierung

Durchschnittliche jährliche Steigerungen bis 2025, in Prozent



Quellen: Bauer et al. (2014), Niegsch (2016)

In einem engen Zusammenhang mit der Effizienzsteigerung steht ein weiteres für Unternehmen wesentliches Potenzial, das sie mit der digitalen Transformation auf der Prozessebene erreichen können: die Verringerung ihrer Kosten. Die digitale Transformation geht mit sinkenden (Produktions-)Kosten einher.¹⁹⁵ Dabei bewirkt die Nutzung neuer, digitaler Technologien Kosteneinsparungen in ganz unterschiedlichen Bereichen (siehe Abbildung 31). Dazu gehört beispielsweise das Lager. Durch eine bessere Prozesssteuerung sowie Erkenntnisse aus Big Data können Unternehmen ihre Produktion genau auf die erwartete Nachfrage abstimmen, sodass der Lageraufbau – für Vor- und Endprodukte – geringer ist.¹⁹⁶ Des Weiteren verringern die Möglichkeiten zur additiven Fertigung sowie die stärkere Individualisierung der Produkte („Losgröße 1“) den Lager-

¹⁹⁵ Vgl. Aliche et al. (2016), Bartels et al. (2017), Bloching et al. (2015), BMAS (2017), BMWi (2016), Campus Mittelstand (2015), Caylar et al. (2016), Chui et al. (2017), Demary et al. (2016), etventure (2018), Geissbauer et al. (2014, 2016), Gensrich (2017), Hüther (2016), Kinkel et al. (2016), Koch et al. (2014), Küpper et al. (2016), Manyika et al. (2015), Michel / Schäfer (2016), Morvan et al. (2016), Parviainen et al. (2017), Prognos (2016), Rüßmann et al. (2015).

¹⁹⁶ Vgl. Aliche et al. (2016).

bestand.¹⁹⁷ Allein durch den geringeren Lagerbestand sind Kostensenkungen von bis zu 75 Prozent möglich.¹⁹⁸

Abbildung 31: Einsparpotenziale bei verschiedenen Kostenarten im Zuge der Digitalisierung

Quelle	Kostenart	Einsparpotenzial durch Digitalisierung
Alicke et al. (2016)	Betriebskosten	40 Prozent
Caylar et al. (2016), McKinsey (2015)	Lagerkosten	20 bis 50 Prozent
	Qualitätskosten	10 bis 20 Prozent
	Wartungskosten	10 bis 40 Prozent
Michel / Schäfer (2016), OECD (2017)	Wartungskosten	30 Prozent
	Reparaturkosten	12 Prozent
Coleman Parkes (2016)	IT-Kosten	37 Prozent
Küpfer et al. (2016)	Umbaukosten in der industriellen Produktion	bis zu 40 Prozent
	Gesamte industrielle Produktionskosten	bis zu 20 Prozent

Daneben führt die digitale Transformation zu geringeren Kosten im Personalbereich der Unternehmen. Mit dem Einsatz künstlicher Intelligenz im Recruiting verringern sich die Kosten der damit verbundenen Prozesse. Daneben verringern digitale Kollaborations- und Kommunikationslösungen die Notwendigkeit für persönliche Treffen mit Kollegen, Partnern oder Kunden, sodass Reisekosten gesenkt werden.¹⁹⁹ Gleiches gilt für die Weiterbildung der Beschäftigten, die mit digitalen Kanälen ortsunabhängig durchgeführt werden kann. Ferner nimmt die Effizienz der Weiterbildung zu, sodass sich die Lernzeiten möglicherweise verringern und damit ebenso der mit der Weiterbildung verbundene Arbeitsausfall sinkt. Weitere Kostensenkungen ergeben sich, wenn Routinetätigkeiten von Maschinen ausgeübt werden, wodurch die Arbeitskosten sinken.²⁰⁰

Neben Personalkosten verringern sich darüber hinaus Kosten im Vertrieb und Kundenservice. Hinsichtlich des Vertriebs ermöglichen digitale Kanäle, dass Unternehmen potenzielle Kunden zu bis zu 70 Prozent geringeren Kosten erreichen.²⁰¹ Der Kundenservice kann mittels künstlicher Intelligenz stärker automatisiert werden, sodass auch hier die Kosten sinken.²⁰²

197 Vgl. Caylar et al. (2016).

198 Vgl. Alicke et al. (2016).

199 Vgl. BMWi (2016).

200 Vgl. Roland Berger (2016), Rüßmann et al. (2015).

201 Vgl. Caylar et al. (2016).

202 Vgl. Hajek et al. (2018).

Ein weiterer Kostenfaktor für Unternehmen sind Reklamationen und Retouren. Auch hier sind mit der digitalen Transformation Verbesserungen möglich. Unternehmen können im digitalen Zeitalter ihre Produkte passgenauer auf die individuellen Kundenbedürfnisse abstimmen und zugleich die Qualität verbessern, sodass die Kunden zufriedener sind und die Wahrscheinlichkeit für eine Reklamation sinkt.

Ein weiteres Potenzial, das Unternehmen mit der digitalen Transformation auf der Prozessebene realisieren können, ist eine Steigerung der Flexibilität.²⁰³ Die größere Flexibilität erlaubt eine bessere Steuerung der Prozesse in Echtzeit. Ändern sich die Rahmenbedingungen oder Anforderungen, können Unternehmen die entsprechenden Prozesse schneller wieder an das neue Setting optimal anpassen.



Christoph Voigt und Dr. Mirko Mählich (Audi)

Eine zentrale Funktion von (Verkehrs-)Infrastruktur ist es, Mobilität zu ermöglichen. Zur Beantwortung der Frage, ob die Infrastruktur in Deutschland den Aufgaben der Zukunft gewachsen ist, gilt es sich also zunächst Gedanken über die Zukunft der Mobilität zu machen.

Im Folgenden wird daher der Wandel der Mobilität am Beispiel der Connected Mobility aufgezeigt. Dazu wird einerseits skizziert, wie diese zunehmende Vernetzung von Fahrzeugen für mehr Sicherheit sorgt, neue Services und Fahrzeugfunktionen ermöglicht sowie die Innovationstätigkeit verbessert. Andererseits wird auch die dafür notwendige Infrastruktur aufgezeigt.

Durch die zunehmende Vernetzung von Fahrzeugen (Connected Mobility) wird der Verkehr sicherer werden. So ist Connected Mobility die Grundlage für kooperatives automatisiertes bzw. autonomes Fahren. Fahrzeuge kommunizieren künftig nicht nur direkt miteinander, sondern agieren kooperativ miteinander. Durch diese Abstimmung der Fahrstrategien, etwa beim Auffahren auf eine Autobahn, nimmt die Sicherheit im Verkehr zu. Ein weiterer potenzieller Sicherheitsgewinn ergibt sich beim Abbiegen eines Fahrzeugs. Hier reduziert sich die Gefahr, dass dabei Radfahrer oder Fußgänger übersehen werden. Ausgangspunkt sind die Smartphones der Fußgänger und Radfahrer. Apps übermitteln dem Fahrzeug Positions- und Bewegungsdaten; besteht akute Unfallgefahr, wird der Fahrer gewarnt. Ermöglicht wird dies durch die mit 5G stufenweise kommende Einführung von Direktkommunikation in Smartphones.

²⁰³ Vgl. Aliche et al. (2016), Bauer et al. (2014), Bitkom (2015), Bloching et al. (2015), Campus Mittelstand (2015), KantarTNS / ZEW (2018), Küpper et al. (2016), Prognos (2016), Rüßmann et al. (2015).

Ganz ähnlich unterstützt die Konnektivität die Sicherheit bei Überholvorgängen. So können die Positions- und Fahrdaten von Fahrzeugen in der Umgebung die Basis der Entscheidung bilden, ob ein Überholvorgang möglich ist, selbst wenn nicht die gesamte Strecke eingesehen werden kann, weil sich das Fahrzeug beispielsweise hinter einem LKW befindet.

Eine weitere sicherheitsrelevante Funktion basiert auf Informationen zu lokalen Gefahren. Erkennt ein Fahrzeug Gefahren durch Glätte, Nebel oder Nässe, so kann es mittels der Vernetzung Fahrzeuge in der Umgebung warnen, so dass diese vorausschauend reagieren können.

Connected Mobility ermöglicht überdies neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Der „Parkhaus Pilot“ ermöglicht, dass ein Fahrzeug vor dem Parkhaus abgestellt wird und es anschließend selbstständig eine Parklücke findet. Später kann es nach Belieben wieder angefordert werden und wartet vor dem Parkhaus auf den Fahrer.

Autonomes Fahren führt ferner zu einem Zeitgewinn. Die Zeit, die heute für das Führen des Fahrzeugs genutzt werden muss, steht künftig beim autonomen Fahren für andere produktive Tätigkeiten oder zur Regeneration zur Verfügung. Dadurch entsteht ein Mehrwert, der bei Audi unter dem Begriff „25. Stunde“ firmiert.

Konnektivität ist jedoch nicht nur die Grundlage für das autonome Fahren selbst, sondern auch für viele Tätigkeiten, die die Kunden in der freien Zeit während der Fahrt wahrnehmen können wie zum Beispiel Skype-Gespräche, E-Mail-Kommunikation oder Video-Streaming.

Vernetzte Fahrzeuge können überdies zu selbstlernenden Einheiten und somit zu einem Innovationstreiber werden. Bislang wurden Assistenzsysteme gemeinsam mit Zulieferern entwickelt und nach ausgiebigen Tests in den Realbetrieb integriert. Bei einer datengetriebenen Entwicklung arbeiten die Entwickler stetig an neuen Funktionen, deren Basis Zustands- sowie Nutzungsdaten sind, die sie von den vernetzten Fahrzeugen aus dem Realbetrieb erhalten - freilich unter Berücksichtigung von Datenschutzaspekten. Anschließend werden die neuen Funktionen als Software-Update direkt zum Kunden zurückgespielt. Die Systeme werden dementsprechend im laufenden Betrieb verbessert. So können bei den Innovationsprozessen die Kosten verringert und die Geschwindigkeit gesteigert werden. Mit der Vernetzung werden monatliche Updates der Funktionen möglich. Es ergibt sich damit eine deutliche Erhöhung der Aktualisierungsfrequenz bei der Fahrzeugsoftware und schnelleren Reaktionen auf Ereignisse im Feld.

Diese neue Art der Mobilität und die damit verbundenen Potenziale sind jedoch nur mit der passenden Infrastruktur realisierbar. Connected Mobility und autonomes Fahren

benötigt insbesondere eine ausreichende Netzabdeckung. Dazu gehört eine flächendeckende Versorgung mit 5G, zuerst entlang der Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen (engl.: major roads) wie es ein Plan der EU bis 2025 und die Vergabebedingungen der Bundesnetzagentur in Deutschland bis 2023 vorsieht. Denn nur 5G bietet hier die notwendige geringe Latenzzeit. Zudem ist eine Ausrüstung zunächst von Fahrzeugen mit Direktkommunikation und darauffolgend eine Erweiterung der direkten Kommunikationsmöglichkeiten von Smartphones mit 5G-V2X notwendig. Dies ist insbesondere für die Sicherheit relevant. Eine weitere sicherheitsrelevante Eigenschaft von 5G ist das „Network Slicing“. Bei 5G können die Netzbetreiber Teile ihrer Infrastruktur anwendungsbezogen und auf Abruf mit besonderen Eigenschaften wie beispielsweise einer zugesicherten Datenkapazität oder Latenz bereitzustellen. So kann die Kommunikation mit einem Rettungswagen eine höhere Netzqualität haben als zum Beispiel das Streamen von Musik.

Darüber hinaus muss bedacht werden, dass viele der skizzierten künftigen Möglichkeiten auf Daten basieren, die von den Fahrzeugen gesendet werden. Dafür müssen die Netze eine adäquate Upload-Fähigkeit aufweisen, wie dies 5G gewährleistet. Allerdings muss auch die Infrastruktur hinter den Mobilfunk-Basisstationen, der Backbone, in der Lage sein, die Datenströme zu verarbeiten.

Des Weiteren sollte auch die Verkehrsinfrastruktur über das 5G Netz verbunden werden, sodass eine Kommunikation mit der Infrastruktur möglich wird. Beispielsweise sendet in Zukunft die Verkehrsleitzentrale Informationen über die Position der Baustellenanhänger auf der Autobahn an die Fahrzeuge, so dass diese ihre Route optimieren können oder zumindest die Information erhalten, dass sie gleich zu einem Verkehrshindernis kommen. Oder die Fahrzeuge bzw. ihre Fahrer bekommen die Informationen von Verkehrszeichen vorab in ihre Navigationssysteme übertragen, so dass eine Optimierung des Verkehrsflusses ermöglicht wird.

All dies ist jedoch nur mit einer passenden und flächendeckenden digitalen Infrastruktur umsetzbar. In China sind bereits einige Großstädte mit solchen Infrastrukturen ausgestattet. Diese werden dann auch als Testfelder für die neuen Technologien wie autonomes Fahren genutzt.

Es wäre daher für Kunden und Hersteller wünschenswert, wenn der 5G-Netzausbau in Deutschland schneller als bislang geplant voranschreiten würde. Im Moment bauen die Netzbetreiber zum Großteil noch das LTE-Netz aus, um Auflagen aus der letzten Versteigerung der LTE-Frequenzen zu erfüllen. Besser wäre im Hinblick auf die künftige Mobilität, dass der weitere Ausbau gleich mit dem zukunftsweisenden 5G-Standard erfolgt, zumindest entlang der Hauptverkehrswege. Auch wäre es wünschenswert, dass

Straßenbetreiber und Mobilfunknetzanbieter gemeinsam an der Bereitstellung und Verteilung relevanter Verkehrsinformation über ein einheitliches 5G System arbeiten würden.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Christoph Voigt und Dr. Mirko Mählich.

Christoph Voigt ist Leiter der Abteilung „Connectivity, Mobile Kommunikation & Car2X Technologien“ bei der Audi AG und zugleich Vorsitzender des Beirats der 5G Automotive Association.

Dr. Mirko Mählich ist Leiter der Entwicklung „Sensordatenfusion & Maplearning automatisiertes Fahren“ bei der Audi AG.

In der Produktion ermöglicht die gestiegene Flexibilität die wirtschaftliche Produktion kleiner Stückzahlen, im Optimum der „Losgröße 1“. Mit vernetzten Maschinen können gesamte Produktionsanlagen im Sinne eines „Plug & Produce“ in relativ kurzer Zeit umgerüstet werden, wenn sich die Produktionsanforderungen verändern. Zusätzlich unterstützt wird dies durch flexibel einsetzbare Roboter und künstliche Intelligenz.²⁰⁴ Während es beim „Plug & Produce“ um eine Umordnung von Maschinen entlang eines vorgegebenen Produktionsweges geht, kann sich die Produktion im digitalen Zeitalter ebenso dadurch auszeichnen, dass der Produktionsweg selbst flexibel wird: Statt eines „starren“ Fließbandes werden flexible Bauteilträger eingesetzt.²⁰⁵ Jeder Bauteilträger kann dabei einen individuellen Weg entlang der unterschiedlichen Maschinen und Anlagen nutzen. Damit kann ein Unternehmen – auch kurzfristig – auf individuelle Kundenwünsche eingehen.²⁰⁶

Neben der zunehmenden Flexibilität führt die digitale Transformation des Weiteren dazu, dass die Geschwindigkeit von Unternehmensprozessen zunimmt.²⁰⁷ Dabei können die Unternehmen nicht nur einzelne Prozessschritte – beispielsweise die Problemaufnahme im Kundenservice – schneller durchführen, vielmehr verläuft der gesamte Prozess bis hin zur Lösung des angezeigten Problems im Kundenservice mit einer höheren Geschwindigkeit.²⁰⁸

Eine wesentliche Basis für die Beschleunigung der Prozesse ist die größere Menge an Daten – Big Data – sowie das damit verbundene größere Wissen und die besseren Prognosemöglichkeiten.²⁰⁹ Darüber hinaus haben Unternehmen auf Basis von Big Data ein genaueres Bild davon, was die konkreten Bedürfnisse ihrer Kunden sind und wann sie wahrscheinlich in der Zukunft welches Produkt kaufen/bestellen werden.²¹⁰ Hier können

204 Vgl. KantarTNS / ZEW (2018).

205 Vgl. Küpper et al. (2016).

206 Vgl. Bloching et al. (2015).

207 Vgl. Aliche et al. (2016), Arellano et al. (2017), Bloching et al. (2015), Chui et al. (2017), Küpper et al. (2016), Martin et al. (2017), Prognos (2016), Stangarone (2016).

208 Vgl. Bendor-Samuel (2017).

209 Vgl. Stangarone (2016).

210 Vgl. Aliche et al. (2016).

Unternehmen im Sinne eines „Predictive Shopping“ die Produktion und den Versand eines bestimmten Produkts noch vor der eigentlichen Bestellung des Kunden starten.

Aber nicht nur im Service- oder Dienstleistungsbereich nimmt die Geschwindigkeit der Prozesse zu, auch in der Industrie bzw. Produktion allgemein. Mit vernetzten Maschinen und Anlagen, die sich autonom steuern lassen, sowie der gestiegenen Flexibilität kann die Produktion beschleunigt werden. Daneben ermöglicht die Verzahnung der Produktionsprozesse in Wertschöpfungsnetzwerken eine bessere und schnellere Abstimmung zwischen den beteiligten Unternehmen.²¹¹

Mit der digitalen Transformation nimmt bei den Unternehmen darüber hinaus die Geschwindigkeit der Produktentwicklung und -kommerzialisierung zu. Mit digitalisierten und vernetzten Prozessen und dem Einsatz digitaler Technologien in der Entwicklung sowie der Produktion verringert sich die Zeit zwischen der ersten Idee für ein neues Produkt und dessen Angebot an die Kunden, d. h. die sogenannte „Time to Market“ sinkt.²¹²

Da all diese Potenziale im Bereich der Wirtschaft letztlich bei der Verkehrsinfrastruktur sowie digitalen Infrastruktur ihren Anfang haben, ist insofern mit der Infrastruktur insgesamt ein großes Potenzial verbunden. Gibt es hingegen Infrastrukturmängel, so werden die Unternehmen in ihrer Geschäftstätigkeit gehemmt. Dies sagten jedenfalls im Jahr 2018 in einer Umfrage des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln 68 Prozent der befragten Unternehmen aus.²¹³

5.2 POTENZIAL FÜR DIE GESELLSCHAFT

Für die Gesellschaft ist – analog zur Wirtschaft – eine zukunftsfähige Infrastruktur die essenzielle Grundlage für die Mobilität, wobei hier die Personenmobilität im Vordergrund steht. Eine Mobilität, die auch in Zukunft uneingeschränkt möglich ist, bildet eine Basis für Lebensqualität, Selbstbestimmung, einen hohen Freizeitwert sowie die Umsetzung alltagspraktischer Erfordernisse.²¹⁴

An diese Punkte knüpft des Weiteren ein Potenzial an, das sich aus dem autonomen Fahren ergibt. Wenn die Menschen dank digitaler Infrastruktur nicht mehr selbst das Auto steuern müssen, haben sie die Freiheit, die Zeit während der Fahrt anders zu nutzen. Das Auto wird zu einem „Third Place“, einer Verlängerung des Zuhauses („First

211 Vgl. Niegsch (2016).

212 Vgl. BCG (2018), BMWi (2016), Caylar et al. (2016), Coleman Parkes (2016), McKinsey (2015), Roland Berger (2016), Expertengespräch mit Christoph Voigt und Mirko Mählich.

213 Vgl. IW (2018).

214 Vgl. Zukunftsinstitut (2017).

Place“) und des Büros („Second Place“).²¹⁵ Die Menschen, die sonst das Auto gesteuert haben, können nun während der Fahrt Tätigkeiten ausüben, die sie sonst nur Zuhause oder im Büro machen konnten. Die so weltweit freiwerdende Zeit hat einen Gegenwert von rund 4 Billionen Euro.²¹⁶

Mit dem autonomen Fahren ergeben sich noch weitere Freiheiten. So kann die Stadtplanung anders aufgestellt werden.²¹⁷ Autonome Fahrzeuge können enger oder auch ganz außerhalb der Innenstadt parken. Damit werden Parkflächen frei, die nun anders genutzt werden können. Werden Stadtteile neu geplant, können diese ganz ohne Parkplätze gestaltet werden.



Oliver Luksic (Mitglied des Deutschen Bundestages)

Zustand der Verkehrsinfrastruktur und digitalen Infrastruktur in Deutschland
Trotz des sogenannten Investitionshochlaufs befindet sich die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland in vielen Teilen noch immer in einem schlechten Zustand. Besonders schmerzhaft wirkt sich dieser Substanzverlust bei Straßen und Schienen aus. Jede dritte Eisenbahnbrücke ist inzwischen 100 Jahre alt, was gravierende Auswirkungen auf das gesamte Bahnnetz haben kann. Dies zeigt sich besonders, wenn beim wichtigen Nord-Süd-Verkehr zwischen den Nordseehäfen und Österreich, der Schweiz und Italien eine Strecke ausfällt und keine Alternativstrecken zur Verfügung stehen, wie das in Rastatt 2017 der Fall war.

Es gibt zu viele Engpassstellen bei der Verkehrsinfrastruktur, die beispielsweise dazu führen, dass viele Unternehmen ihren Güterverkehr nicht so auf Schiene und Wasserstraße verlagern können, wie sie es gerne möchten.

Auch bei den Wasserstraßen führen die fehlenden Investitionen zu Problemen, hier insbesondere durch den äußerst schlechten Zustand der Schleusen und Wehre, die zum Teil 100 Jahre und älter sind.

Bei der digitalen Infrastruktur (z. B. Verbreitung von Glasfaser, 5G) ist Deutschland im internationalen Vergleich nicht im vorderen Bereich. Der nötige Ausbau wird dabei nicht durch zu geringe finanzielle Mittel seitens des Staates beschränkt, vielmehr stellt der Subventionsdschungel gepaart mit zu geringen Baukapazitäten ein Problem dar.

²¹⁵ Vgl. Zukunftsinstitut (2017).

²¹⁶ Vgl. Heise (2018).

²¹⁷ Vgl. Braun et al. (2019), Heise (2018), Oliver Wyman (2015).

Herausforderung und Aufgabe für die Zukunft

In Deutschland lässt sich die Kapazität der Verkehrsinfrastruktur mit einem weiteren Ausbau nicht so schnell steigern, wie es eigentlich nötig wäre. Zum einen ist das Land schon sehr dicht bebaut, was regelmäßig schon zu gesellschaftlichen Widerständen bei Infrastrukturprojekten führt. Zum anderen dauern unsere Planungsverfahren viel zu lange, bis endlich mal Baureife geschaffen wurde. Insofern muss die Kapazität im bestehenden Netz erhöht werden. Dies geht im Wesentlichen nur mit der Digitalisierung, zum Beispiel im Bereich der Schiene. Laut einer Machbarkeitsstudie von McKinsey belaufen sich die Kosten dafür auf 30 bis 40 Milliarden Euro. Mit den Maßnahmen kann dann die Kapazität im bestehenden Schienennetz um 25 bis 30 Prozent erhöht werden.

Geplant ist die Umsetzung seitens der Bundesregierung bis 2040, was wenig ambitioniert erscheint, da andere Länder die Digitalisierung der Schiene bereits bis 2025 abschließen wollen.

Im Bereich des Straßenbaus lassen sich Verbesserungen beim Ausbau mit dem Building Information Modeling (BIM) erreichen, wodurch die Bauplanung digitalisiert und vereinfacht wird. Aktuell laufen die meisten Planungs- und Genehmigungsverfahren noch analog, sodass zahlreiche Aktenordner zwischen den eingebundenen Behörden hin und her geschickt werden.

Der anschließende Ausbau selbst könnte zusätzlich mit finanziellen Anreizen, wie einer Prämie für schnelles Bauen, beschleunigt werden. Damit erhöhen sich zwar kurzfristig die Kosten für den Bund, aber Engpässe wären so früher beseitigt und der volkswirtschaftliche Nutzen käme deutlich schneller zum Tragen.

Des Weiteren muss Deutschland auch in größerem Umfang als bisher seinen Verpflichtungen beim Ausbau der europäischen Verkehrsinfrastruktur nachkommen. Beim Brennerbasistunnel oder dem Fehmarnbelt haben die jeweiligen Nachbarstaaten ihre Anschlussstellen schon weit vorangetrieben, Deutschland hängt jedoch hinterher und gilt zunehmend als unzuverlässiger Partner.

Ein Kernproblem ist aber in jedem Fall das Planungsrecht, das in Deutschland sehr komplex und kompliziert ist. Hier sollten Vereinfachungen angestrebt werden. In Dänemark beispielsweise werden bei national wichtigen Infrastrukturvorhaben die Planungen in einem Gesetz geregelt, wodurch das gesamte Verfahren abgekürzt wird.

In Deutschland wurde zwar mit dem Planungsbeschleunigungsgesetz ein erster Schritt unternommen, was jedoch keine wirklichen Verbesserungen in diesem Bereich ermöglicht.

Verbesserungen sind aber wichtig, da zwar in jüngster Zeit die Investitionsmittel zum Erhalt und Ausbau der Verkehrsinfrastruktur erhöht wurden, die Mittel allerdings gar nicht vollständig genutzt werden können. Es gibt aufgrund der zu langwierigen Planungs- und Genehmigungsprozesse nicht genügend baureife Projekte.

Hinsichtlich Planungs- und Genehmigungsverfahren könnten außerdem in den kommunalen Behörden auch die personellen Ressourcen aufgestockt werden. Hier besteht ein großer Fachkräftemangel, sodass bei den zuständigen Verwaltungsbehörden oftmals die notwendigen Experten – beispielsweise für die Prüfung und Genehmigung einer Brückenplanung – fehlen.

Mit Blick auf die digitale Infrastruktur sollte das Verfahren zur Frequenzvergabe überarbeitet werden. Bei dem derzeitigen Auktionsmodell stehen die Einnahmen zur sehr im Fokus. So flossen bei der jüngsten Auktion der 5G-Frequenzen dem Staat enorme Erlöse zu, die den Unternehmen nun bei Aus- und Aufbau der 5G-Infrastruktur fehlen. „Weiße-Flecken-Auktionen“, von den Freien Demokraten vorgeschlagen und nun vom Verkehrsminister aufgegriffen, können die Erschließung unterversorgter Gebiete durch private Anbieter unterstützen. Beim Breitbandausbau mangelt es momentan nicht an Förderung, sondern am Mittelabfluss. Fehlende Baukapazitäten und komplizierte

Antragsverfahren behindern den nötigen Ausbau. Innovative Verfahren zur Kabelverlegung, vereinfachte Verfahren und Gigabit-Gutscheine könnten Abhilfe schaffen.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Oliver Luksic.

Oliver Luksic ist Mitglied des Deutschen Bundestages und Sprecher für Verkehr und digitale Infrastruktur der Fraktion der Freien Demokraten.



Relevant ist für die Gesellschaft des Weiteren, wie auch für die Wirtschaft, dass autonomes Fahren die Sicherheit im Straßenverkehr erhöht.²¹⁸ Viele Unfälle lassen sich auf menschliche Fehler zurückführen. Deshalb wird im Rahmen von Prognosen davon ausgegangen, dass sich die Unfallzahlen mit autonomem Fahren um bis 90 Prozent verringern ließen.

Darüber hinaus erhöht sich die Durchflusskapazität der Straßen.²¹⁹ Durch die Interaktion der Fahrzeuge mit der Infrastruktur (z. B. Signalanlagen) und der daraus resultierenden verbesserten Verkehrssteuerung sowie durch geringere Abstände, die autonome Fahrzeuge ermöglichen, kann das bestehende Straßennetz mehr Mobilität aufnehmen.

Außerdem wird die Mobilität mit der zunehmenden Verbreitung des autonomen Fahrens „grüner“.²²⁰ Durch einen kontinuierlicheren Verkehrsfluss und somit weniger Brems- sowie Beschleunigungsmomente sinkt der Kraftstoffverbrauch. Damit einhergehend verringern sich ebenso die Emissionen von Treibhausgasen wie zum Beispiel CO₂. Die Kraftstoffeinsparungen, die in einer Größenordnung von bis zu 30 Prozent rangieren,

²¹⁸ Vgl. Heise (2018), Oliver Wyman (2015), Sprengel (2018).

²¹⁹ Vgl. Braun et al. (2019).

²²⁰ Vgl. Braun et al. (2019), Heise (2018).

führen außerdem dazu, dass sich die Kosten der Mobilität verringern.²²¹ Während ein Kilometer mit dem Auto aktuell etwa 40 Cent kostet, käme bei einem rund um die Uhr genutzten autonomen Fahrzeug der Kilometer auf nur 3 Cent. Damit hat dieses Potenzial auch eine soziale Dimension, da sich einkommensschwächere Haushalte ebenfalls mehr individuelle Mobilität leisten können.

Auch grundsätzlich geht von der digitalen Infrastruktur eine Verbesserung der sozialen Teilhabe der Bürger aus. So profitiert die Gesellschaft durch neue Möglichkeiten für Dialog, Kooperation und Partizipation. Eine zukunftsweisende digitale Infrastruktur hat darüber hinaus das Potenzial, Standortnachteile zwischen Land und Stadt auszugleichen. Immer mehr Ressourcen sind im digitalen Raum gegeben, zu denen man mit einer adäquaten Infrastruktur von überall aus Zugriff hat.

Dazu gehört beispielsweise der Zugang zu Informationen. Ein Potenzial, das bereits heute gegeben ist, sich jedoch noch vergrößert, ist ein schneller, orts- und zeitunabhängiger sowie kostengünstiger Informationszugang wie -austausch. So bietet der einfache Zugang zum Internet theoretisch jedem Menschen, unabhängig von sozialen, politischen und kulturellen Unterschieden, die Möglichkeit, relativ unkompliziert und kostengünstig auf Informationen zuzugreifen. Damit eröffnet das Internet jedem Einzelnen Chancen, mehr Ressourcen wie Zeit für andere Dinge zu nutzen. Ausgehend davon ist die digitale Infrastruktur eine Voraussetzung für die Teilhabe der Bevölkerung an Wissen und Bildung.²²²

Eine digitale Infrastruktur ermöglicht darüber hinaus eine voranschreitende digitale Transformation in der Gesellschaft. Diese Transformation eröffnet grundsätzlich neue Chancen für mehr gesellschaftliche Teilhabe. Neben einem verbesserten Zugang zu Informationen ermöglichen die neuen Technologien, dass sich jeder am öffentlichen Diskurs beteiligen kann, indem er Wissen mit anderen teilt und seine Meinung sagt – Menschen werden über große Entfernungen zusammengeführt und können sich austauschen. Diese neuen Informations- und Diskursmöglichkeiten führen im besten Fall zu mehr gesellschaftlicher Transparenz, erleichtern eine potenzielle politische Beteiligung und schaffen für die Gesellschaft einen Mehrwert. Neue Partizipationsmöglichkeiten zur Mitgestaltung gesellschaftlicher Prozesse ermöglichen mehr Gerechtigkeit.²²³

Dazu gehört ebenfalls die politische Teilhabe. Die neuen Informations- und Diskursmöglichkeiten bieten die Option, Politik näher an den Menschen zu bringen, sich aktiver zu beteiligen und mitzugestalten. Jeder hat die Möglichkeit, sich zu informieren sowie an privater politischer Kommunikation über Social-Media-Plattformen teilzunehmen.²²⁴ Informationen dienen der Transparenz und ermöglichen ein besseres Verständnis für politische Entscheidungen oder auch das Aufdecken von Fehlplanungen. Der direkte Kontakt fördert den Austausch zwischen Bürgern und Entscheidungsträgern.²²⁵

221 Vgl. Heise (2018), Sprengel (2018), Zukunftsinstitut (2017).

222 Vgl. DIHK (2017).

223 Vgl. Bertelsmann Stiftung (2017b).

224 Vgl. Hegelich / Shahrezaye (2017).

225 Vgl. Beining (2017).

Darüber hinaus bietet das Internet die Chance einer verstärkten Beteiligung an politischen Prozessen. Wahlen, Volksabstimmungen und Petitionen haben als klassische Form der politischen Beteiligung den Nachteil, dass sie nur eine punktuelle Teilhabe ermöglichen oder ein hohes zeitliches Engagement fordern.

E-Partizipation erleichtert die Einflussnahme auf politische Entscheidungen mit Hilfe digitaler Medien. Die Beteiligung kann ausgehend vom Bürger in Richtung Regierung über Online-Petitionen erfolgen. Außerdem können sich Politiker Unterstützung, Meinungen und Ideen der Bürger auf Online-Plattformen suchen. Politik gewinnt durch die stärkere Beteiligung der Bürger an Nähe und Transparenz. Auch Nichtregierungsorganisationen, Vereine und lokale Initiativen gewinnen Vorteile, indem sie digitale Medien zum Zweck der Information, Mobilisation und Aktion nutzen. Ein Anliegen kann durch eine informative Aufbereitung mit digitalen Mitteln interessant und verständlich verbreitet werden, um so Stimmen oder Spenden zu sammeln sowie zur Beteiligung an Kampagnen zu animieren.

Online-Wahlen (E-Voting) können die politische Beteiligung erhöhen, kostengünstigere Wahlen ermöglichen und zu einer Stärkung der Willensbildungsprozesse beitragen. Jüngere, internetaffine Bürger bilden eine unterrepräsentierte Gruppe bei Wahlteilnahmen und könnten durch Internet-Wahlen und Online-Beteiligungsverfahren verstärkt in demokratische Prozesse eingebunden werden.²²⁶ Beispielsweise könnte die Online-Wahl eine weitere Option neben den beiden klassischen Wegen der Stimmabgabe im Wahllokal und per Briefwahl sein.

Mit ausgebauten sowie funktionierenden E-Government-Angeboten können die Bürger den Zeitaufwand bei Behördengängen senken, wie das Beispiel Wien zeigt. Dort sparen die Einwohner der Stadt pro Verwaltungsvorgang zwischen 30 Minuten und zwei Stunden Zeit im Vergleich zur analogen Verwaltung.²²⁷

Ein weiterer wichtiger gesellschaftlicher Bereich, in dem ausgehend von einer digitalen Infrastruktur Potenziale realisiert werden können, ist die Gesundheit. Es ergeben sich neue Möglichkeiten, die traditionelle Gesundheitsversorgung durch den Einsatz digitaler Technologien in eine intelligente Gesundheitsversorgung weiter zu entwickeln und dadurch deren Qualität zu verbessern.²²⁸ Diagnostik, Behandlung, Pflege und Geräte werden ergänzt oder durch automatisierte Prozesse ersetzt. In diesen Prozessen werden Informationen und Daten gesammelt mit dem Ziel, sie zwischen verschiedenen Gesundheitsdienstleistern zu teilen. Resultierend daraus kann potenziell Krankheiten vorgebeugt werden, sie können früher erkannt und so besser behandelt werden.

Die digitale Infrastruktur ist außerdem die Grundlage für Telemedizin. Dabei handelt es sich um ärztliche Versorgungskonzepte in den Bereichen Diagnostik, Therapie und Rehabilitation, die durch Einsatz von Kommunikations- und Informationstechnologien über

226 Vgl. Bertelsmann Stiftung (2017).

227 Vgl. Gassmann et al. (2019).

228 Vgl. Kleibrink et al. (2019).

räumliche Distanzen hinweg erbracht werden.²²⁹ Patienten gewinnen Komfort und Bequemlichkeit, denn häufige und lange Anfahrten zum Arzt sowie einige Krankenhausaufenthalte werden obsolet, und es erfolgt eine schnellere Anpassung von Medikamenten.²³⁰ Die Telemedizin bietet diverse Vorteile für das Gesundheitssystem und damit die individuelle Gesundheit:

- ⊙ **Doctor-to-Patient (D2P): Telemedizin ermöglicht eine bessere Erreichbarkeit bei räumlicher Trennung von Arzt und Patient, besonders in ländlichen Gegenden, die von Versorgungslücken betroffen sind, oder aber auch bei der nächtlichen Versorgung. Im Optimalfall kann eine Rund-um-die-Uhr-Erreichbarkeit gewährleistet werden. Außerdem kann mit Hilfe der Telematik der Gesundheitszustand von Patienten, vor allem von chronisch Kranken, über die Distanz überwacht werden, wodurch ihnen ein weitgehend normaler Lebenswandel ermöglicht wird. Hierbei werden Vitalparameter wie Gewicht, Blutdruck und Herzfrequenz übertragen und vom Arzt ausgewertet.**²³¹
- ⊙ **Doctor-to-Doctor (D2D): Der Nutzen, wenn Ärzte, insbesondere Fachärzte, mit modernen Kommunikationstechnologien Expertise und Erfahrungen, unabhängig von geografischen Grenzen, austauschen, liegt in einer erhöhten Diagnosesicherheit und Wahrscheinlichkeit, Heilungsmöglichkeiten zu finden. Das betrifft vor allem bildgebende Systeme der Medizintechnik, wie z. B. Röntgenbilder oder Computertomographien.**²³²
- ⊙ **Bessere Not-/Schlaganfallversorgung: Häufig spielt Zeit eine Rolle, um Leben zu retten. Bei gleichzeitig auftretenden Notfällen an unterschiedlichen Orten kann Telemedizin zum Überbrücken von Engpässen eingesetzt werden.**²³³

Damit kann die Telemedizin zu einer deutlichen Verbesserung der Gesundheitsversorgung, insbesondere in ländlichen Gegenden und von chronisch oder mehrfach Erkrankten führen.²³⁴ Gerade vor dem Hintergrund knapper Personalressourcen bietet Telemedizin einen flächendeckenden Zugang zu medizinischen Dienstleistungen in wirtschaftlich vertretbarer Weise. Darüber hinaus ergibt sich im gesamten Gesundheitssektor ebenfalls ein Kostensenkungspotenzial.

Wie im Wirtschaftsbereich ist ebenso bei der Gesellschaft die notwendige Voraussetzung für all diese Potenziale eine zukunftsweisende digitale Infrastruktur sowie Verkehrsinfrastruktur. Insofern begründen die Potenziale einen adäquaten Aus- und Neubau der Infrastruktur.

229 Vgl. Bundesärztekammer (2015).

230 Vgl. Perlitz (2010).

231 Vgl. Auer (2017).

232 Vgl. Perlitz (2010).

233 Vgl. Perlitz (2010).

234 Vgl. Kleibrink et al. (2019), Secer / von Bandemer (2019).

Herausforderungen beim Infrastrukturausbau

06

In den nächsten Jahren ist es dringend erforderlich, in Deutschland die Verkehrsinfrastruktur sowie die digitale Infrastruktur weiter auszubauen. Hinzu kommen zahlreiche Erhaltungsmaßnahmen im bestehenden Netz (z. B. Brückensanierungen). Dabei geht es nicht nur darum, die Wichtigkeit dieser Maßnahmen zu erkennen, sondern auch darum, deren Umsetzung zu gewährleisten. Hierbei gibt es Aspekte, die beim Aus- und Neubau der Infrastruktur berücksichtigt werden müssen, um eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen nicht zu gefährden. Diese Herausforderungen werden im Folgenden betrachtet.

6.1 BAUKAPAZITÄT

Unabhängig davon, ob es um den Neubau von Straßen und Schienen, die Sanierung von Brücken oder den Ausbau des Glasfaser- und Mobilfunknetzes geht, stets spielen die beauftragten Bauunternehmen eine wichtige Rolle. Kapazität und Leistungsfähigkeit des Bausektors sind somit limitierende Faktoren für die Herstellung einer zukunftsfähigen Infrastruktur.

Nach der langen Zeit des wirtschaftlichen Aufschwungs in Deutschland ist die Kapazität der Bauwirtschaft ungemein stark ausgelastet. Viele Bauprojekte wurden in der wirtschaftlichen Aufschwungphase und der Phase der ultraleichten Geldpolitik angestoßen. Dies betrifft insbesondere den Bereich des Wohnungsbaus.

Im Straßenbau sind die verfügbaren Baukapazitäten hingegen kein limitierender Faktor.²³⁵ Allerdings sind die für den Ausbau der digitalen Infrastruktur wichtigen Tiefbauunternehmen seit geraumer Zeit stark ausgelastet.²³⁶ Daten des Statistischen Bundesamtes zeigen, dass der Auftragsbestand Mitte 2019 im Durchschnitt für weit über vier Monate reicht und die Auslastung dauerhaft weit über 80 Prozent liegt. Dies ist für die Branche ein außerordentlich hoher Wert. Da der wichtigste Auftraggeber die öffentliche Hand ist und die Projekte langfristig geplant werden, ist auch mittelfristig kein Rückgang der Aufträge in Sicht.

Zugleich begrenzt vor allem der Fachkräftemangel eine weitere Produktionsausweitung der Branche.²³⁷ So zählen die im Tiefbau beschäftigten Fachkräfte und Experten zu den sogenannten „Engpass-Berufen“.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Tiefbaubranche vergleichsweise kleinteilig strukturiert ist. Nur etwa zehn der etwa 9.500 Tiefbauunternehmen erwirtschaften einen Jahres-

235 Vgl. Expertengespräch mit Elfriede Sauerwein-Braksiek.

236 Vgl. Expertengespräch mit Nick Kriegeskotte.

237 Vgl. Malin et al. (2019).

umsatz von mehr als einer Milliarde Euro, davon sind die größten dieser Unternehmen (Hochtief, Strabag, Züblin) in ausländischer Hand. Diese großen Unternehmen der Tiefbaubranche, die potenziell über ausreichende Kapazitäten verfügen oder diese mobilisieren könnten, engagieren sich bisher jedoch kaum mit kleinteiligen Straßenreparaturen und dem Breitbandausbau. Die kleineren Unternehmen sind zudem durchweg sehr spezialisiert, beispielsweise auf bestimmte Bauwerke wie Straßen oder Leitungen. Darüber hinaus präferieren viele Unternehmen, die Tiefbauleitungen verlegen können, Aufträge im Bereich Elektroleitungen anstatt Breitbandausbau, weil sie diesen Bereich für länger zukunftssträftig halten.

Was für alle Infrastruktur-Baumaßnahmen von großer Relevanz ist, sind die nachhaltig starken Preissteigerungen bei einigen Baurohstoffen wie zum Beispiel Sand oder Asphalt. So stiegen laut dem Statistischen Bundesamt die Preise im Straßenbau von 2015 bis Mitte 2019 um rund 18 Prozent. Besonders stark verteuerte sich der Brückenbau: Allein in den drei Jahren 2015 bis 2018 haben sich diese Kosten mehr als verdoppelt.²³⁸ So musste die DB Netz AG nur für das Brückensanierungsprogramm der Bahn in diesen drei Jahren nicht budgetierte 1,2 Milliarden Euro zusätzlich ausgeben.

Eine unzureichende Personalausstattung stellt jedoch nicht nur den ausführenden Baubereich vor Herausforderungen. Auch im vorgelagerten öffentlichen Planung- und Genehmigungsbereich ist das Personal ein Engpassfaktor. Es fehlen gerade Fachkräfte wie Bauingenieure, sodass die Verwaltungsbehörden oftmals nicht in der Lage sind, beispielsweise eine Brückenplanung zu prüfen und zu genehmigen.²³⁹ Dadurch verzögern sich die Verfahren zum Teil deutlich.

6.2 REGULIERUNG

Die Regulierung ist insbesondere im Telekommunikationsmarkt von zentraler Bedeutung. Hier hat die Bundesnetzagentur großen Einfluss auf den Infrastrukturausbau. Als ehemaliger Alleinanbieter ist die Deutsche Telekom das wichtigste Regulierungsobjekt des Telekommunikationsgesetzes (TKG), da alternative Telekommunikationskonzerne, die über eigene Festnetzinfrastrukturen verfügen, für die Erbringung von Endkundendiensten oft von Vorleistungen der Deutschen Telekom abhängig sind. Aufgrund der historischen Entwicklung verfügt dieses Unternehmen nach wie vor über den Großteil der vorhandenen Infrastruktur im Festnetzbereich, insbesondere bei den kupferbasierten Teilnehmeranschlussleitungen, die traditionell den Zugang zum Endkunden ermöglichen. Diese Vorleistungen haben somit den Charakter monopolartiger Engpässe („Bottle-

238 Vgl. Bundesregierung (2019b).

239 Vgl. IW (2018), Expertengespräch mit Oliver Luksic.

necks“). Die Folge ist, dass die entsprechenden Vorleistungsentgelte – wie beispielsweise der Preis für den Zugang zur entbündelten Teilnehmeranschlussleitung (TAL) oder der Preis für Bitstromzugang – einer ex-ante-Regulierung seitens der Bundesnetzagentur unterliegen.

Mit der sogenannten „Vectoring-2-Entscheidung“ vom September 2016 hat die Bundesnetzagentur der Deutschen Telekom eine Art Exklusivrecht eingeräumt, innerhalb des Hauptverteiler-Nahbereichs von 550 Metern VDSL-Vectoring einzusetzen. Im Gegenzug hat sich das Unternehmen verpflichtet, sämtliche Hauptverteiler bundesweit mit Vectoring zu erschließen. Problematisch daran ist, dass ein Überbau mit VDSL-Vectoring zur Entwertung der Investitionen führt, die alternative Anbieter in die relativ leistungsfähigeren FTTH/B- und HFC-Netze getätigt oder geplant haben. Eine Folge ist, dass sich die Konkurrenten nun nicht mehr die kritische Masse an Kunden sichern können, die für eine Amortisation ihrer Investitionen notwendig ist. Denn für viele Normalnutzer reichen Bandbreiten von unter 100 Mbit/s im Downstream. Somit besteht die Gefahr, dass der weitgehende Einsatz von VDSL-Vectoring den Ausbau von zukunftssträchtigen Gigabitnetzen verzögert.

Im Mobilfunk führt die Versteigerung von Lizenzen zur temporären Bewirtschaftung des knappen Spektrums zu massiven Kostenbelastungen für die investierenden Netzbetreiber. Zudem koppelt die Bundesnetzagentur die Vergabe der Lizenzen an konkrete Versorgungsaufgaben.



Dr. Nico Grove (kāpena & Di² - Digital Infrastructure Investment)

Zustand der Digitalen Infrastruktur in Deutschland

Die Digitale Infrastruktur in Deutschland ist nicht zukunftsfähig aufgestellt. Digitale Infrastruktur bezeichnet in diesem Zusammenhang grundlegende Netze und Einrichtungen zur Datenkommunikation und Verarbeitung, wie z. B. Datennetze, Data Center und Mobilfunkstandorte. Im Ranking zur Verbreitung von Glasfaserverbindungen des FTTH Council liegt Deutschland weiterhin abgeschlagen am unteren Ende. Andere Länder sind beim Glasfaserausbau deutlich schneller bzw. haben diesen bereits abgeschlossen.

Dazu ist anzumerken, dass beispielsweise Länder in Osteuropa oder China von vornherein beim Aufbau der Digitalen Infrastruktur mit Glasfaser gestartet sind. Diesen Effekt des Technologiesprungs von in diesem Fall quasi nichts auf Glasfaser bezeichnet man als „Leap-Frog“-Effekt, während in Deutschland eine bestehende Kupfer-Infrastruktur nach und nach aufgerüstet und erneuert wird.

Die geringe Verfügbarkeit von Glasfasernetzen bedingt in Folge auch die schlechte Mobilfunkversorgung, da eine hochwertige drahtlose Versorgung eine unmittelbare hochwertige Anbindung an das Festnetz auf Glasfaserbasis bedingt. So zeigt beispielsweise der Digital Economy and Society Index der EU, dass Deutschland – wie wir jeden Tag am eigenen Leib erfahren – auch bei der flächendeckenden Versorgung mit 4G nur auf einem der hinteren Plätze im EU-Vergleich ist.

Dieser Zustand ist dabei die Folge einiger Fehler der Vergangenheit. Dazu gehörte der starke Fokus auf die Preisregulierung zulasten einer flächendeckenden Versorgung nach der Privatisierung des Telekommunikationssektors. ISDN wurde als gegebener Infrastrukturstandard angesehen, und es fehlten Anreize für eine flächendeckende Weiterentwicklung. Dieser fand nur dort statt, wo es für die Unternehmen (selbstverständlich ökonomisch nachvollziehbar) auch wirtschaftlich sinnvoll war.

Und dies gilt auch für den weiteren Ausbau. Die Deutsche Telekom zum Beispiel ist ein privates Unternehmen, dessen Vorstand selbstverständlich wirtschaftlich handelt. Oft wird vergessen, dass genau dies Sinn und Zweck des Unternehmens ist. Nur weil das Unternehmen mal Teil eines Staatsbetriebs war und der Staat heute immer noch daran beteiligt ist, besteht keinerlei Verpflichtung, auch einen unwirtschaftlichen Netzausbau zu übernehmen.

Anforderungen an die künftige Infrastruktur

In Zukunft kommen verschiedene neue Anforderungen an die (Digitale) Infrastruktur auf uns zu. Dabei ist zu beachten, dass der Infrastrukturausbau nicht durch die Nachfrage getrieben ist. Vielmehr ist es so, dass das Angebot die Nachfrage determiniert. Beispielsweise konsumiert der durchschnittliche 4G-Nutzer in Südkorea 400 Megabyte am Tag. Beim durchschnittlichen 5G-Nutzer sind es bereits 1,3 Gigabyte. Das Datenvolumen wird in der Größenordnung genutzt, weil es überhaupt erst möglich ist. Dementsprechend sollte zuerst eine adäquate Infrastruktur geschaffen werden, wofür staatliches Engagement notwendig ist. Dann werden anschließend passende Geschäftsmodelle und Anwendungen durch Unternehmen entwickelt.

Dementsprechend hat die Infrastruktur für all das gerüstet zu sein, was noch in Zukunft kommen mag, ohne diese Zukunft genau zu kennen.

Aktuell folgt daraus der Bedarf nach einer flächendeckenden Glasfaserversorgung. Diese sollte dann aber auch seitens des Staates aktiv getrieben werden, beispielsweise, indem schwächere Technologien wie das Kupferkabel gezielt abgeschaltet werden. Hier existieren Konzepte eines Anschluss-Benutzungszwangs für Innovationssprünge. Damit wäre eine Glasfaseranbindung kommunalrechtlich ähnlich möglich, wie die bestehende Zwangsanbindung ans Kanalnetz. Dann würde auch schlagartig der flächendeckende Ausbau des Glasfasernetzes in bevölkerungsschwächeren Regionen wirtschaftlich werden.

Außerdem hat der weitere Ausbau in beiden Dimensionen – Glasfaser und 5G – parallel zu erfolgen, da eine 5G-Versorgung ohne einen Glasfaser-Ausbau eben nicht möglich ist. Dieser Ausbau ist engmaschig vorzunehmen, da künftig mehr Mobilfunkstandorte benötigt werden. Im Jahr 2016 gab es ca. 74.000 Mobilfunkstandorte. Künftig werden allerdings bis zu 750.000 Standorte für 5G und gegebenenfalls sogar mehr benötigt: „The future of wireless is fixed.“ Parallel zu den 5G Mobilfunkstandorten sind weiterhin so genannte „Edge-Data-Center“ zu errichten, welche Echtzeitinformationen vor Ort verarbeiten und auswerten.

Die Kosten eines solchen Ausbaus sind dabei so hoch, dass die knapp 6,6 Milliarden Euro, die die Mobilfunkunternehmen in der ersten Versteigerung der 5G-Frequenzen zahlten, nicht sehr ins Gewicht fallen. Angesichts der Gesamtkosten für den Netzausbau sind 1,5 Milliarden Euro mehr oder weniger hier pro Anbieter nicht entscheidend.

Frequenzvergabe

Insofern ist angesichts dieser Bedeutung der Kosten diesbezüglich die Diskussion rund um die Versteigerung der 5G-Frequenzen etwas übertrieben. Am Ende handelt es sich um privatwirtschaftlich agierende Unternehmen, bei denen man davon ausgehen sollte, dass sie genau genommen freiwillig „so viel Geld“ geboten haben, wie sie es zu dem Zeitpunkt der Auktion für wirtschaftlich vertretbar hielten.

Grundsätzlich gehört es zu Versteigerungsverfahren dazu, dass hohe Erlöse erzielt werden. Eine Versteigerung ist somit generell ein effizienter und effektiver Marktmechanismus zugleich. Jene Unternehmen bekommen den Zuschlag, die glauben, damit am besten wirtschaften zu können.

Alternativ könnten die Frequenzen zwar auch einfach frei vergeben werden. Bei einer solchen Vergabe würden sich am Ende aber wahrscheinlich viele Unternehmen oder auch Personen beteiligen wollen. Das wirft die Frage auf, wie die Frequenzen verteilt werden, wenn die Nachfrage größer als das Angebot ist. Mobilfunkfrequenzen und daraus resultierende Lizenzen sind eine knappe Ressource, die es entsprechend pareto-optimal zu allokalieren gilt.

Staatliche Mobilfunk-Infrastruktur-Gesellschaft

Es gibt auch immer wieder Überlegungen, eine staatliche Mobilfunk-Infrastruktur-Gesellschaft zu gründen, jüngst in Form der so genannten „MIG – Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft“. Der Staat sollte sich dann aber nur auf eine flächendeckende Netzversorgung konzentrieren und für die Interaktion mit den Endkunden die Infrastruktur an Service-Betreiber vermieten. So gäbe es immer noch einen Wettbewerb direkt beim Kunden, Ineffizienzen beim Ausbau und der Versorgung könnten aber gegebenenfalls vermieden werden. Ein Beispiel dafür ist die ursprüngliche Idee des National Broadband Networks in Australien.

Eine Entscheidung für diese staatliche Lösung hätte allerdings bereits bei der Privatisierung der Bundespost erfolgen können. Denn aktuell hätte eine solche Idee Eingriffe in die Eigentumsrechte am deutschen Telekommunikationsmarkt zur Folge. So müssten für einen Übergang der Infrastruktur in staatliche Hand die privaten Eigentümer enteignet werden.

Flächendeckende Versorgung

Die Anforderungen an die künftige Digitale Infrastruktur machen einen flächendeckenden Glasfasernetzausbau zwingend erforderlich. Um diese flächendeckende Versorgung und den damit notwendigen Netzausbau auch in unwirtschaftlichen Regionen sicherzustellen, bestehen grundsätzlich ganz einfache Mechanismen. Bereits heute ist die Vergabe der Frequenzen mit Auflagen zum Ausbau verbunden. Insofern sind die Anbieter bereits zum Ausbau gezwungen. Dies hat auch entsprechend kontrolliert und gegebenenfalls bei Nicht-Erfüllung auch mit einem Frequenzentzug sanktioniert zu werden. Letzteres ist aber in der Vergangenheit bei 4G, 3G oder auch 2G noch nie passiert.

In Zukunft sind dann auch die Auflagen entsprechend den Versorgungszielen zu wählen. So war bei der jüngsten 5G-Versteigerung eine Auflage für jeden Bieter, 1.000 5G-Basisstationen und 500 Basisstationen in „weißen Flecken“ bis Ende 2022 zu errich-

ten. Um allerdings entlang einer Autobahn eine adäquate 5G-Versorgung zu gewährleisten, braucht es alle 1 bis 2,5 Kilometer eine Basisstation, sodass dies von dieser Auflage bei weitem nicht abgedeckt wird.

Für den Ausbau einer flächendeckenden Versorgung, auch in für Unternehmen unwirtschaftlichen Regionen, gibt es zwar bereits öffentliche Förderung. Diese ist jedoch nicht optimal ausgestaltet. Oftmals nutzen Unternehmen die Förderung für einen Netzausbau in der Nähe der Ballungsgebiete, an denen die Kalkulation nah an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit ist. Hier hätten unter Umständen die Unternehmen aber auch ohne Förderung über kurz oder lang das Netz ausgebaut. Der Staat sollte vielmehr die Fördermittel auf die Regionen konzentrieren, wo ein privatwirtschaftlicher Ausbau überhaupt nicht lohnend und somit ohne Anreiz für die Unternehmen ist. Somit ist in den unwirtschaftlichsten Regionen mit einem geförderten Ausbau zu starten, in denen die höchsten Baukosten vorliegen. Damit stimuliert man dann auch den Ausbau in den nächstliegenden Regionen.

Ein möglichst flächendeckender Ausbau wird ferner auch erleichtert, wenn besser auf bestehende Infrastruktur aufgesetzt werden kann. Falls in einer Region bereits ein Glasfaserkabel liegt, vereinfacht dies einen Mobilfunkausbau. Dazu ist Unternehmen allerdings der Zugang zu dem Wissen zu ermöglichen, dass dort bereits ein Kabel liegt. Zwar gibt es dafür eine meldepflichtige Plattform seitens des Staates, hier fehlt allerdings der finanzielle Anreiz für die Unternehmen, die Informationen tatsächlich preiszugeben. Im Gegenteil besteht vielmehr das Risiko, dass sie dann jedem anderen Unternehmen Zugang gewähren müssten. Besser wäre hier eine Plattform, auf der die Unternehmen anonym preisgeben, in welchen Regionen welche Infrastruktur bereits vorhanden ist. Mit dieser Sichtbarkeit kann anschließend mittels Auktion eine Mitnutzung gegen entsprechende Zahlungsbereitschaft geregelt werden.

Gebietsmonopole

Zur Stimulierung des Netzausbaus wird auch die Einrichtung von Gebietsmonopolen diskutiert. Dabei werden Gebiete jeweils einem Unternehmen zugesprochen, welches dann allein für den Ausbau der Netzinfrastuktur flächendeckend verantwortlich ist, aber die Infrastruktur dann anschließend auch exklusiv nutzen oder vermieten kann. Dies ist grundsätzlich ein guter Ansatz für eine möglichst flächendeckende Versorgung. Teilweise kommt dieser bereits in Frankreich zum Einsatz. Eine Umsetzung in Deutschland wäre allerdings problematisch, weil die Idee eigentlich zu spät kommt. In vielen Gebieten ist bereits eine Netzinfrastuktur wie VDSL vorhanden, zum Teil auch gefördert. Im Rahmen der Gebietsmonopole würde die geförderte Infrastruktur überbaut

werden, was wiederum zu wettbewerbsrechtlichen Verwerfungen führt. Außerdem gibt es in Teilen Deutschlands ja bereits Glasfaserleitungen, die Eigentum von verschiedenen Unternehmen sind. Bei Gebietsmonopolen käme es dann – wie bei einer staatlichen Mobilfunk-Infrastruktur-Gesellschaft – zu Eingriffen in entsprechende Eigentumsrechte.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Dr. Nico Grove.

Dr. Nico Grove ist Managing Director der kăpena GmbH, einer M&A Boutique für Digitale Infrastruktur. Außerdem ist er Gründer des Institute for Infrastructure Economics and Management.

6.3 FINANZIERUNGSBEDARF

Der notwendige Infrastrukturausbau geht mit einer beachtlichen Kostenbelastung für den Staat im Bereich der Verkehrsinfrastruktur sowie für die Netzbetreiber im Bereich der digitalen Infrastruktur einher. Für die Aufrüstung der Verkehrsinfrastruktur ist derzeit ausschließlich die öffentliche Hand zuständig, die insofern für ein ausreichendes Budget zu sorgen hat. Die digitale Infrastruktur muss dagegen von der Privatwirtschaft – gegebenenfalls unterstützt durch staatliche Förderung – bereitgestellt werden.

Privatunternehmen sind allerdings nur dann dazu bereit, den Ausbau der Infrastruktur zu übernehmen, wenn dies für sie mit einem wirtschaftlichen Vorteil verbunden ist. Insofern ist insbesondere die Finanzierung des Glasfaserausbaus im ländlichen Raum oder in dünn besiedelten Regionen eine große Herausforderung.

Beim 5G-Standard erfordern sowohl die angestrebten Bandbreiten und Qualitätsparameter als auch der zu erwartende Anstieg der Datennutzung hohe Investitionsausgaben zur Erweiterung der Netzkapazitäten. Zur Verbesserung der Flächenabdeckung ist mittelfristig die Abschaltung der 2G- und 3G-Netze unabdingbar, um Frequenzen frei zu machen. In Abhängigkeit davon, welches Frequenzspektrum letztlich für 5G genutzt wird, muss die Zahl der Standorte für Basisstationen deutlich ansteigen.

Für Rechenzentren stellen insbesondere die im internationalen Vergleich hohen deutschen Energiekosten sowie die steigenden Immobilienpreise in den Ballungsgebieten eine Herausforderung dar.



Gesellschaftlicher Wider- stand bei der Modernisie- rung der Infrastruktur

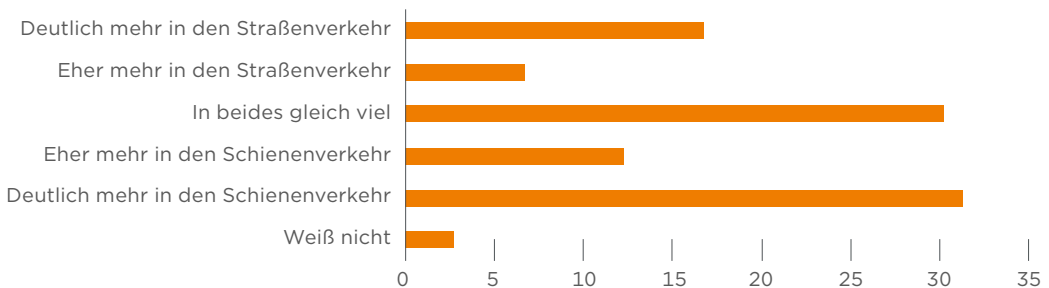
07

Die gesellschaftliche Akzeptanz einer Modernisierung und eines Ausbaus der Infrastruktur in Deutschland ist für die erfolgreiche Umsetzung der geplanten Investitionen von großer Wichtigkeit. Diese Akzeptanz hat einen wesentlichen Einfluss gleichermaßen auf die Kosten wie die Bauzeit. Bürgerproteste und Verwaltungsgerichtsverfahren können die Fertigstellung verzögern und die Projektkosten in die Höhe treiben. Am sichtbarsten betrifft dies den mit der Energiewende verknüpften Ausbau der Windenergie an Land sowie die Verlegung der Nord-Süd-Stromtrassen. Neben der Umweltverträglichkeit, der Wirtschaftlichkeit sowie der Versorgungssicherheit hat sich die gesellschaftliche Akzeptanz implizit zum vierten Ziel der Energiepolitik entwickelt. Nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen europäischen Ländern wie Frankreich, Irland, den Niederlanden oder Polen trifft der Bau von Windkraftanlagen oder Stromtrassen auf die Skepsis von Teilen der Bevölkerung.²⁴⁰

Der Widerstand in der Bevölkerung gegen den (notwendigen) Infrastrukturausbau formiert sich, obwohl man das damit verbundene Ziel durchaus unterstützt, wie eine repräsentative Umfrage der Allianz pro Schiene zum Investitionsbedarf im Verkehrssektor zeigt (siehe Abbildung 32).

Abbildung 32: Sollte zukünftig stärker in den Ausbau des Schienenverkehrs oder des Straßenverkehrs investiert werden?

Anteil der Befragten in Prozent



Quelle: Civey, Allianz pro Schiene

240 Vgl. Gurzu (2018).



Dr. Anna-Lena Schöner (Ruhr-Universität Bochum)

In Politik und Wirtschaft hält sich seit langer Zeit der Mythos von der Technik- und Industrieferndlichkeit der Deutschen, die für die Skepsis gegenüber Infrastrukturprojekten verantwortlich gemacht wird. Wissenschaftliche Forschungsergebnisse stützen diese These jedoch nicht.

Mehrere Studien kamen zu dem Ergebnis, dass in Deutschland eine relativ positive Einstellung gegenüber Technik und Industrie herrscht. Fragt man die Menschen auf einer Dreierskala, ob Technik oder Industrie für sie eher ein Fluch oder ein Segen ist, werden beide Segmente eher als Segen wahrgenommen. Rund ein Drittel der Befragten sieht Technik und Industrie positiv, der allergrößte Teil ist eher ambivalent eingestellt, und nur ein geringer Anteil von rund zehn Prozent sagt, es ist eher ein Fluch. Der Anteil der ambivalent eingestellten Personen gegenüber Technik hat im Zeitverlauf zugenommen.

Proteste gegen Windenergie- oder Industrieanlagen sind demnach kein Ausdruck von grundsätzlicher Industrie- und Technikferndlichkeit. Tatsächlich geht es um die fehlende Akzeptanz dieser Anlagen in der eigenen Nachbarschaft oder im lokalen Wohn- und Lebensumfeld der betroffenen Personen. Das ist völlig losgelöst davon zu sehen, ob es sich dabei explizit um eine Industrieanlage handelt.

Meine Forschungen haben ergeben, dass die Bevölkerung die größte Abneigung gegenüber Flughäfen in ihrer Nachbarschaft hat. Es folgen das Rotlicht-Viertel und auf Platz drei das Chemiewerk. Das Stahlwerk lag im Mittelfeld, noch hinter dem Gefängnis, Asylbewerberheim und der Autobahn. Einen Kindergarten in der eigenen Nachbarschaft lehnten die Befragten dabei überraschenderweise häufiger ab als ein Automobilwerk. Es ist also nicht die industrielle Großanlage oder das Infrastrukturprojekt, die ein grundsätzliches Akzeptanzproblem haben, es geht um die konkrete Maßnahme vor Ort. Dann kann sogar ein Kindergarten oder ein Einkaufszentrum als problematischer wahrgenommen werden als ein Automobilwerk. Möglicherweise beeinträchtigt ein Kindergarten das subjektive Wohlbefinden der Anlieger stärker als ein Automobilwerk.

Studien aus den Jahren 2013 zur Akzeptanz von Industrieanlagen und 2019 zur Akzeptanz der Wasserstofftechnologie in Deutschland kamen zum Ergebnis, dass die Vorbehalte der Anlieger vor allem auf möglichen Risiken für die Gesundheit und die Lebens-

qualität beruhen. Bei Windkraftanlagen wird zudem im Rahmen von qualitativen Studien im Zuge der Energiewende häufig die „Verspargelung“ der Landschaft und die Angst um die Heimat, wie man sie kennt, genannt.

Die von Infrastrukturvorhaben Betroffenen wünschen sich vor allem umfassende Information über die Bauvorhaben. Bei der Wasserstoffstudie von 2019 waren es 39 Prozent, bei der Akzeptanzstudie von Großanlagen aus dem Jahr 2013 immerhin noch 35 Prozent. Mit Blick auf weitere Baumaßnahmen ist das eine Empfehlung, die man aussprechen kann. Die Leitfäden für die informellen Beteiligungsverfahren der Bürger betonen stets den Dreiklang aus Information, Konsultation und Kooperation. Danach soll man den Anwohnern vor Ort die Möglichkeit geben, sich zu beteiligen und dann mitzuentcheiden. Das ist den Befragten aber tatsächlich weniger wichtig. Ein finanzieller Ausgleich oder zumindest eine Haftung der Betreiber einer Anlage im Schadenfall wurden dagegen häufiger genannt, z. B. für eine Beeinträchtigung an der eigenen Immobilie oder den Wertverlust des Grundstücks. Der kann ja unter Umständen eine relevante Größenordnung erreichen, z. B. in der Nähe eines Flughafens oder einer Hochspannungsleitung.

Wichtig ist die Unterscheidung zwischen Akzeptanz und Akzeptabilität. Ingenieure machen Akzeptabilitätsbewertungen, wonach z. B. bis zu einem bestimmten Grenzwert die Lärmbelastung noch akzeptabel ist. Aber diese Grenzwerte sind natürlich keine festen Größen, und es bedeutet nicht automatisch, dass damit die Akzeptanz der Anlieger sichergestellt wird. Die Experten können sich irren, falsche Grenzwerte festlegen oder Gegebenheiten außer Acht lassen, die gesundheitliche Risiken bergen. Dennoch genießen Experten grundsätzlich großes Vertrauen, wie die Wasserstoffstudie von 2019 gezeigt hat, in der den Wissenschaftlern das größte Vertrauen entgegengebracht wurde.

Wenn alle Partizipations- und Beteiligungsinstrumente wie aktives Mitentscheiden, explizites Mitspracherecht oder finanzielle Beteiligung nicht helfen, wird es schwer, zu einer gütlichen Einigung zu kommen bzw. Akzeptanz zu erreichen. Die Proteste gegenüber Infrastrukturprojekten sind häufig sehr lokal organisiert. Es bedarf manchmal nur sehr weniger engagierter Personen, um den Protest zu initiieren und mithilfe der Sozialen Medien darauf aufmerksam zu machen. Gerade letztere ermöglichen es durch ihre große Reichweite, der eigenen Stimme ein größeres Gehör zu verschaffen. Proteste einzelner können hierdurch manchmal größer wirken, als sie wirklich sind. Verhärteten sich die Fronten zwischen Befürwortern und Gegnern von Infrastrukturprojekten, wird es schwierig, überhaupt noch eine gütliche Einigung zu erreichen. Hier werden auch Partizipations-, Beteiligungs- und Entschädigungsverfahren kaum noch Abhilfe schaf-

fen. Patentrezepte wirken dann nicht. Am Ende wird man dann auch damit leben müssen, nie alle von einem Projekt überzeugen zu können. Daher wird es umso wichtiger, formelle Verfahren zu beschleunigen, d. h. möglichst schnell für alle Parteien verbindliche Entscheidungen herbeizuführen.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Anna-Lena Schönauer.

Anna-Lena Schönauer ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Allgemeine Soziologie, Arbeit und Wirtschaft an der Ruhr-Universität Bochum.

7.1 SCHIENENVERKEHR

Der Anteil des Schienengüter- und -personenverkehrs an der Verkehrsleistung soll in allen dieser Studie zugrunde gelegten Szenarien ansteigen (siehe Kapitel 4). Zudem ist die Verlagerung von Verkehr auf die Schiene ein wesentlicher Teil der von der Politik proklamierten Verkehrswende. Dennoch ist der dazu notwendige Streckenausbau in der Bevölkerung keineswegs unumstritten, insbesondere, wenn sie unmittelbar von der Realisation von Bauprojekten betroffen ist.

So bildet sich – nur um ein Beispiel zu nennen – zurzeit eine Protestbewegung im bayerischen Inntal, wo eine neue zweigleisige Eisenbahnstrecke gebaut werden soll, auf der nach ihrer Fertigstellung im Jahr 2038 täglich 400 zumeist zum Güterverkehr eingesetzte Züge fahren sollen. Diese Trasse ist Teil der europäischen Nord-Süd-Verbindung durch den neuen Brenner-Basistunnel und soll dazu beitragen, Güterverkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern.²⁴¹ Nach den Erfahrungen aus dem durch Schienengüterverkehr stark belasteten Rheintal werden die Anlieger sowohl mit Lärm als auch mit einem Wertverlust ihrer Immobilien rechnen müssen.

Es bleibt daher abzuwarten, ob die vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) vorgeschlagenen Pläne zur Reaktivierung von 3.000 Kilometern stillgelegter Eisenbahnstrecken im Falle der Verwirklichung ohne pressewirksame Bürgerproteste umzusetzen sind.²⁴²

241 Vgl. Peitsmeier / Zăboji (2019).

242 Vgl. VDV (2019).

7.2 AUTOBAHNBAU

Während die Notwendigkeit der Sanierung der bestehenden Verkehrsinfrastruktur und damit der Erhalt ihrer Leistungsfähigkeit in der Bevölkerung unumstritten ist, trifft eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des Straßennetzes häufig auf Widerstand. Obwohl alle hier verwendeten Szenarien einen Anstieg des Straßenverkehrsaufkommens im nächsten Jahrzehnt prognostizieren, wird vor allem gegen den Kapazitätsausbau einer Autobahn von vier auf sechs Fahrspuren oder gegen den Bau eines noch fehlenden Teilstücks (Lückenschluss) protestiert, z. B. beim geplanten Lückenschluss der Autobahn 1 in der Eifel. Naturschutzverbände protestieren seit mehr als zwei Jahrzehnten gegen den Bau der fehlenden 15 Kilometer Straße. Ihr Argument: Die intakte Natur und der Bestand bedrohter Tierarten wie Schwarzstorch und Haselhuhn seien ein höheres Gut als der Bau einer aus ihrer Sicht unnötigen Autobahn, die Lärm und Luftverschmutzung verursacht und das Krebsrisiko erhöht.²⁴³ Neben der negativen persönlichen Betroffenheit durch Lärm, Abgase, Wertverlust der Immobilie usw. spielen vielfach emotionale Gründe eine wichtige Rolle.

7.3 HAFENAUSBAU

Der Binnenschifffahrt soll künftig ebenfalls eine wichtigere Rolle im Verkehrssektor zukommen. Engpassfaktoren sind hier die vielfach zu gering dimensionierten und sanierungsbedürftigen Schleusen sowie die unzureichende Leistungsfähigkeit der Binnenhäfen. Während sich gegen die Modernisierung der Schleusen kein Protest erhebt, wird der Hafenausbau durchaus kritisch gesehen. In Köln wurde der seit den 1990er Jahren geplante und 2007 vom Rat der Stadt beschlossene Ausbau des Godorfer Hafens in einem Naturschutzgebiet im Sommer 2019 – auch aufgrund von Bürgerprotesten – von der Politik gestoppt. Wirtschaftliche und ökologische Gründe sprächen dagegen.²⁴⁴

²⁴³ Vgl. Hammes (2018).

²⁴⁴ Vgl. Süßer (2019).



7.4 5G-NETZAUSBAU

Die neue 5G-Mobilfunktechnologie und deren Auswirkungen werden zwar hierzulande schon diskutiert, sie steht jedoch (noch) nicht im Fokus der Aufmerksamkeit – im Gegensatz zur Schweiz und Belgien, wo der Aufbau und Betrieb des neuen Mobilfunknetzes wegen angeblicher Gesundheitsrisiken in einzelnen Regionen vorerst gestoppt wurde.²⁴⁵

Nicht auszuschließen ist jedoch, dass sich auch in Deutschland Protestbewegungen gegen den Aufbau des 5G-Mobilfunknetzes bilden. Um den Datenverkehr der Zukunft bewältigen zu können, ist insbesondere in Innenstädten ein sehr engmaschiges Netz von 5G-Funkzellen notwendig. Kritiker sehen die Gefahr einer steigenden Strahlenbelastung für die Bevölkerung, obwohl das Bundesamt für Strahlenschutz an 5G-kritischen Studien „methodische Schwächen und Inkonsistenzen“ bemängelt.²⁴⁶

In all diesen Beispielen des Widerstands beim Ausbau der Verkehrsinfrastruktur sowie der digitalen Infrastruktur kommt es zu einem „Attitude-Behaviour-Gap“: Menschen sind durchaus mit Veränderungen einverstanden, solange sie davon in der subjektiven Wahrnehmung nicht negativ betroffen sind. Der Widerstand ist zum Teil subjektiv rational, wenn man in die Betrachtung miteinbezieht, dass die Anlieger eines Infrastrukturprojekts einen Vermögensverlust in Kauf nehmen müssen, weil z. B. der Wert ihrer Immobilien sinkt. Zudem misstrauen Bürger den Aussagen von Politik und Unternehmen, fühlen sich ihnen hilflos ausgeliefert und bei Entscheidungen übergangen, die in ihre Lebenswelt eingreifen.²⁴⁷

²⁴⁵ Vgl. Kuhn (2019), NZZ (2019).

²⁴⁶ Vgl. Bethge (2019).

²⁴⁷ Vgl. Cwiertnia (2019).

Handlungsoptionen

08

Aktuell entsprechen Qualität und Quantität der deutschen Infrastruktur in vielen Bereichen nicht den Anforderungen der Zukunft. So lautet das ernüchternde Ergebnis dieser Studie. Im Folgenden sollen Handlungsoptionen dargelegt werden, die Maßnahmen zur Beseitigung der vorhandenen Defizite aufzeigen und mit diesen die Zukunftsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland sichern können. Sie richten sich als Diskussionsgrundlage dezidiert an die politischen Entscheidungsträger in Bund, Ländern und Kommunen.

Diese Optionen können keine perfekte Infrastruktur herstellen. Dafür wäre ein Neustart „auf der grünen Wiese“ erforderlich. Ausgangspunkt ist vielmehr das bestehende System. Hier gilt es Ansatzpunkte zu identifizieren, mit denen die heutige Infrastruktur zukunftsfest werden kann.

Wir sind uns bewusst, dass die Vorschläge in Teilen über die existierenden gesetzlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen hinausgehen. Dies ist beabsichtigt, um kein Verbesserungspotenzial zu übersehen, nur weil es jenseits des gegebenen institutionellen Rahmens liegt. Zudem ist es die Kernaufgabe der Politik, den institutionellen Rahmen der Realität bzw. den Erfordernissen der Zukunft anzupassen – und nicht umgekehrt.

8.1 PLANUNGS- UND GENEHMIGUNGS-VERFAHREN

Ein großer Mangel beim Infrastrukturaus- und -neubau in Deutschland ist, dass vorhandene Investitionsmittel nicht voll ausgeschöpft werden können. Grund hierfür ist das Fehlen von baureifen Projekten.²⁴⁸ Dies lässt sich vorrangig zurückführen auf langwierige Planungs- und Genehmigungsverfahren. In Deutschland sind diese Verfahren und Prozesse zu komplex, zu aufwendig und nehmen damit zu viel Zeit in Anspruch.²⁴⁹

Um die Infrastruktur zügiger als bisher auszubauen, zu erneuern und auf die künftigen Anforderungen vorzubereiten, sollten die Planungs- und Genehmigungsverfahren beschleunigt werden. Derzeit ist die Zeitspanne zwischen der konkreten Projektidee und dem Baubeginn zu groß. Jedoch ist hierbei zwischen der Verkehrsinfrastruktur und der digitalen Infrastruktur zu unterscheiden. Bei der Verkehrsinfrastruktur ist der Staat sowohl für die Planung der Maßnahmen als auch für deren Genehmigung zuständig. Insofern hat er es bei beiden Prozessen in der Hand, wie viel Zeit diese in Anspruch nehmen. Den Aus- und Neubau der digitalen Infrastruktur verantworten allerdings private Unternehmen, sodass die Politik hier in erster Linie nur die Genehmigungsverfahren beschleunigen kann.

²⁴⁸ Vgl. Schulz (2018), Expertengespräch mit Oliver Luksic.

²⁴⁹ Vgl. Expertengespräche mit Gerhard Hillebrand, Oliver Luksic und Elfriede Sauerwein-Braksiek.

Für eine solche Beschleunigung bei Planung und Genehmigung bieten sich verschiedene Optionen an. Dazu gehört ein verstärkter Einsatz von E-Government-Lösungen bei der Planung und der Genehmigung von Ausbau- und Erneuerungsmaßnahmen bei der Infrastruktur. Ein Beispiel dafür ist eine digitale Plattform, auf die alle beteiligten Akteure (Planer, Behörden) Zugriff haben. Hier können die Baupläne eingestellt sowie aktualisiert werden und alle Behörden, die in den Genehmigungsprozess involviert sind, können zeitgleich über die Pläne entscheiden.

Effizienzgewinne verspricht zudem der Einsatz digitaler Tools wie das Building Information Modeling (BIM) im Planungsbereich.²⁵⁰ Bei BIM wird zunächst ein digitaler Zwilling des Bauprojektes erstellt. Alle am Bau Beteiligten können ihre Daten in dieses Modell in der Daten-Cloud einspeisen, und die Pläne werden gleich in 3D visualisiert. Auf diese Planung kann anschließend jeder Beteiligte zugreifen, jede Änderung ist sofort allen bekannt. Die meisten Bauunternehmen ebenso wie die zuständigen öffentlichen Stellen haben jedoch bisher keine durchdachte Digitalisierungsstrategie. Es fehlt an kompetentem und spezialisiertem Personal. Insofern hinkt Deutschland in diesem Punkt anderen EU-Ländern wie den Niederlanden, Großbritannien und Skandinavien hinterher. In Großbritannien ist der Einsatz von BIM bei öffentlichen Großprojekten Pflicht, die Regierung beziffert die Einsparungen seit 2012 auf mehr als 2 Milliarden Euro, die Einhaltung von Fristen und Budgets habe sich um 33 Prozent verbessert.



250 Vgl. Wieselhuber (2018).

Ziel des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur ist es, den Zustand im Planungs- und Genehmigungsbereich zu verbessern. So gab das Ministerium bereits im Dezember 2015 einen Drei-Stufenplan heraus, nach dem ab Anfang 2020 sämtliche Infrastrukturgroßprojekte mit BIM geplant und abgewickelt werden müssen.²⁵¹ Zu Anfang wurden zunächst einige Pilotprojekte und Forschungsvorhaben gefördert. Darüber hinaus haben das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur sowie das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat Juni 2019 ein „Nationales BIM-Kompetenzzentrum“ eingerichtet.²⁵²

Den Plan²⁵³ des BMVI, Vorreiter bei BIM zu werden, gilt es in jedem Fall voranzutreiben, um eine Beschleunigung bei Planungs- und Genehmigungsverfahren zu erreichen.

Eine weitere Option ist die Vermeidung von Verzögerungen, wenn sich im Laufe des Planungsprozesses Umwelt- oder Sicherheitsauflagen verändern, die zu einer Überarbeitung bis hin zur Neuaufsetzung der Pläne führen. Hier sollte die Rechts- und Planungssicherheit gestärkt werden. Dazu gehört ein Rückwirkungsverbot für Auflagenveränderungen. Die Pläne zum Ausbau oder zur Erneuerung von Infrastruktur müssen nur dem zu Planungsbeginn maßgeblichen Auflagenstand entsprechen. Dabei ist das Risiko, dass diese Auflagen völlig überholt sind, relativ klein, da die gesamte Umsetzung der Baumaßnahmen künftig so schneller abläuft.

Die Genehmigung und konkrete Umsetzung national bedeutender Infrastrukturvorhaben kann darüber hinaus mittels Gesetze geregelt werden, ähnlich wie es in Dänemark der Fall ist. In den Gesetzen könnten dann ebenfalls Klageverfahren gestrafft werden. Solche Maßnahmengesetze werden bereits vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geprüft.²⁵⁴

Eine weitere Möglichkeit zur Beschleunigung der Verfahren ist eine vermehrte Umsetzung von den Projekten in öffentlich-privater Partnerschaft (ÖPP), bei der sich zeigt, dass dadurch Projekte schneller umgesetzt werden.²⁵⁵ Davon sollte man sich auch durch die ersten, noch nicht überzeugenden Erfahrungen bei dem Einsatz von ÖPP im Infrastrukturausbau in Deutschland nicht abbringen lassen.

Bei der Finalisierung werden allerdings bei beschleunigten Planungs- und Genehmigungsverfahren öffentliche Verwaltungsstellen eingebunden. Bestehen bei diesen weiterhin personelle Engpässe (siehe Kapitel 6.1), werden Beschleunigungsmaßnahmen konterkariert. Insofern sollten in jedem Fall die Personalressourcen, gerade Fachkräfte wie Bauingenieure, bei den Verwaltungsbehörden aufgestockt werden.

251 Vgl. BMVI (2019d).

252 Vgl. BMVI (2019e).

253 Vgl. Schulz (2018).

254 Vgl. Schulz (2018).

255 Vgl. Sieg / Wigger (2018).

8.2 UMGANG MIT GESELLSCHAFTLICHEN WIDERSTÄNDEN

Bei vielen Infrastrukturprojekten ist es in der jüngeren Vergangenheit zu einem zunehmenden Widerstand von gesellschaftlichen Gruppen gekommen.²⁵⁶ Bei manchen Projekten verzögert dies deren Umsetzung, andere Projekte werden durch Proteste und Klagen seitens der Bürger ganz gestoppt (siehe Kapitel 7).

Ursache für den Widerstand ist eine mangelnde Akzeptanz bei relevanten Teilen der Bevölkerung. Das ist zugleich der Ansatzpunkt zur Bewältigung dieser Herausforderung. Unabhängig davon, ob es sich um reale oder vermeintliche Risiken bzw. Nachteile handelt, die zum Protest gegen den Auf- oder Ausbau der Infrastruktur animieren, sollten sich Politik und Unternehmen bemühen, eine gesellschaftliche Akzeptanz sicherzustellen. Denn in einem hochentwickelten Rechtsstaat wie der Bundesrepublik bestehen vielfältige juristische Einspruchsmöglichkeiten, um den Planungs- und Bauprozess zumindest zu verzögern. Selbst nach Abschluss des Genehmigungsprozesses gibt es noch die Möglichkeit des politischen Widerspruchs in Form von gesellschaftlich akzeptierten Demonstrationen. „Die Legitimität eines Großvorhabens [lässt] sich heute nicht mehr allein mittels Paragraphen bemessen oder gar verargumentieren.“²⁵⁷

Der Dialog zwischen Politik, Unternehmen und Bürgern ist daher notwendig. Kritiker sollten grundsätzlich nicht als Fortschrittsverweigerer diffamiert, sondern mit ihren Anliegen ernst genommen werden: „Um einen gesellschaftlichen Ausgleich zwischen den Interessen zu finden, müssen Politik und Wirtschaft in einem ersten Schritt zunächst ein Verständnis für die Interessen und Ängste der Bürgerinnen und Bürger entwickeln.“²⁵⁸

In einer Demokratie können umfangreiche Infrastrukturprojekte nicht gegen, sondern nur gemeinsam mit den betroffenen Bürgern verwirklicht werden. So wurde der Konflikt um den Bahnhof Stuttgart 21 erst dann befriedet, als sich bei einer Volksabstimmung die Mehrheit in Baden-Württemberg für dessen Neubau aussprach. Nicht in allen Fällen bedarf es eines Plebiszits, um die Bürger einzubeziehen. Vielfach genügt es, die Anlieger frühzeitig und umfassend über das geplante Projekt zu informieren und Änderungswünsche – soweit dies möglich ist – aufzunehmen. „Sobald die Menschen nachvollziehen können, was ihnen vorgelegt wird“, so die Erfahrung, „verschwinden die Ängste, denn sie verstehen, dass sie Einfluss auf das Projekt nehmen können.“²⁵⁹ Der größere Zeitbedarf und die zusätzlichen Finanzmittel müssen dabei einkalkuliert werden.²⁶⁰ Dennoch sollte man sich der Grenzen durchaus bewusst sein: „Bürger zu beteiligen ist kein Allheilmittel.

256 Vgl. Expertengespräche mit Gerhard Hillebrand und Oliver Luksic.

257 RWE (2012).

258 Schönauer (2013).

259 Gurzu (2018).

260 Vgl. Gurzu (2018).

Nie wird man alle Betroffenen von einem Vorhaben überzeugen können. Aber praktische Partizipation vergrößert Handlungsspielräume.“²⁶¹ Des Weiteren besteht die Gefahr, dass am Schluss lediglich ein Kompromiss mit unzureichenden Minimallösungen steht.

Neben der frühzeitigen Bürgerbeteiligung kann auch eine finanzielle Kompensation für mögliche negative externe Effekte eines Infrastrukturprojekts zur Akzeptanz beitragen. Negative externe Effekte sind externe Kosten, die entstehen, wenn sich das Handeln eines Marktteilnehmers auf den Nutzen von unbeteiligten Personen nachteilig auswirkt; wenn Unternehmen oder der Staat nur die betriebswirtschaftlichen Kosten ihrer Produktion kalkulieren, deren sozialen Kosten, d. h. die Auswirkungen auf die Gesellschaft aber ausklammern (externalisieren).

So tragen die Anwohner einer Neubaustrecke Kosten in Form sinkender Immobilienpreise und Beeinträchtigungen ihres individuellen Wohlbefindens durch Lärm. Diese Kosten werden aber bei der Kalkulation nicht berücksichtigt. Daher ist zu erwarten, dass sich Widerstand der Anlieger gegen den Ausbau der Infrastruktur formiert, wenn diese negativen externen Effekte nicht internalisiert werden.

Erhalten die Anlieger einer neuen Eisenbahnstrecke oder Autobahn eine finanzielle Entschädigung für ihre individuellen Wohlstandseinbußen – vor allem für den Wertverlust der Immobilien –, kann der lokale Konflikt um den Ausbau der Infrastruktur auf diesem Weg befriedet werden. Damit erhöhen sich die Projektkosten. Im Extremfall kann das Vorhaben dadurch unrentabel werden.

Allerdings ist eine individuelle Internalisierung externer Effekte aufgrund der Probleme einer genauen ökonomischen Bewertung der Schäden nicht immer möglich.

Eine zweite Form der Internalisierung externer Effekte – jedoch nicht auf der individuellen, sondern auf der kollektiven Ebene – ist das Angebot von Staat und Unternehmen, das beabsichtigte Großprojekt mit zusätzlichen Investitionen in der Region oder Gemeinde zu begleiten, um so die Lebensqualität vor Ort zu verbessern. Die Kommunen bzw. Bürger lassen sich ihre Zustimmung bzw. den Verzicht auf Widerstand abkaufen.²⁶² Angesichts der häufigen Probleme bei der individuellen Zurechenbarkeit von Beeinträchtigungen, die aus negativen externen Effekten resultieren, ist dies ein legitimes Verfahren der Internalisierung, um die gesellschaftliche Akzeptanz für das Infrastrukturprojekt sicher zu stellen.

Neben den genannten politischen und ökonomischen Maßnahmen stehen auch technische Lösungen zur Verfügung, um die Akzeptanz der Anlieger zu gewährleisten. Ein Drittel der Deutschen fühlt sich beispielsweise durch Schienenverkehrslärm gestört. Bei Neu- und Ausbaustrecken ist bereits ein umfassender Lärmschutz gesetzlich vorge-schrieben. Aber auch die Bestandsstrecken sollen vom technischen Fortschritt profitie-

261 RWE (2012).

262 Vgl. Schönauer (2013).

ren. So wird der Lärmschutz vor allem durch die Umrüstung aller Güterwagen der DB Cargo auf leisere Verbundstoffbremssohlen bis Ende 2020 vorangetrieben. Daneben werden neue Schallschutztechniken entwickelt, z. B. Mini-Schallschutzwände direkt an den Gleisen, Schienenstegdämpfer, die den Körperschall im Schienenkörper verringern, Kunstholzschielen und Schienenschmieranlagen.²⁶³ Allerdings müssen die vorhandenen technischen Lösungen auch umgesetzt werden.

Straßenverkehrslärm kann durch Flüsterasphalt, der geringere Abrollgeräusche verursacht, Schallschutzwände, Einhausungen oder Tunnellösungen verringert werden. Perspektivisch wird die Elektromobilität zu deutlich niedrigeren Lärm- und Schadstoffemissionen (Stickstoffoxid, Feinstaub) von Kraftfahrzeugen führen.

8.3 VERKEHRSINFRASTRUKTUR

8.3.1 INVESTITIONSMITTEL UND FINANZIERUNG

Der Bund hat bereits in den letzten Jahren die Investitionsmittel für die Verkehrsinfrastruktur merklich gesteigert.²⁶⁴ Angesichts des zunehmenden Bedarfs (siehe Kapitel 4) ist zwar noch kein hinreichendes Niveau erreicht, aber im Hinblick auf das Budget für den Erhalt, Aus- und Neubau der Verkehrsinfrastruktur sollte zuerst eine Sicherstellung des Status quo gewährleistet werden, bevor ein Ausbau angegangen wird.

Aufgrund der Kapazitätsengpässe bei den Planungs- und Genehmigungsverfahren werden die derzeit zur Verfügung stehenden Investitionsmittel nicht vollständig genutzt. Eine Voraussetzung dafür, dass die Verwaltungsbehörden, aber auch die Bauunternehmen die erforderlichen Kapazitäten aufbauen, ist allerdings, dass diese Kapazitäten langfristig benötigt werden und damit ausgelastet sind. Deshalb ist es notwendig, die aktuelle Höhe der Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur zu halten. Dadurch kann die wichtige Planungssicherheit geschaffen werden.²⁶⁵

Zur Gewährleistung von Planungssicherheit reicht es jedoch nicht nur aus, dass künftig die Investitionsmittel nominal die gleiche Höhe aufweisen. So haben gerade unerwartet hohe Baupreissteigerungen in der Vergangenheit dazu geführt, dass Erhöhungen der Investitionsmittel zum Teil keine Wirkung entfalteten.²⁶⁶ Eine Option zur Sicherstellung einer gleichbleibenden „Investitionskraft“ der Finanzmittel wäre eine automatische Anpassung um Preissteigerungen im Baubereich. Das Budget für den Erhalt, Aus- und

²⁶³ Vgl. Thomas (2019).

²⁶⁴ Vgl. Expertengespräche mit Gerhard Hillebrand und Klaus Deutsch.

²⁶⁵ Vgl. Expertengespräch mit Gerhard Hillebrand.

²⁶⁶ Vgl. Eisenkopf (2018).

Neubau der Verkehrsinfrastruktur könnte dabei jedes Jahr um den Faktor angepasst werden, den das Statistische Bundesamt als Steigerung der entsprechenden Baukosten ausweist. In ähnlicher Weise verläuft die Anpassung des gesetzlichen Mindestlohns, bei dem der Tariflohn-Index maßgeblich ist. Auf ein solches Vorgehen bei den Investitionsmitteln für die Verkehrsinfrastruktur müssten sich allerdings die Parteien im Bundestag verständigen, da die Mittel, auch wenn im Bundesverkehrswegeplan für mehrere Jahre geplant wird, jedes Jahr als Teil des gesamten Bundeshaushalts ausgehandelt werden. Eine automatische Anpassung des Etats für den Infrastrukturausbau würde einen gewissen Eingriff in das Budgetrecht, das „Königsrecht“ des Bundestages, bedeuten. Angesichts des insofern erwartbaren Widerstands würde dieser Punkt mit intensiven Diskussionen einhergehen, bei denen die Sicherstellung einer gleichbleibenden „Investitionskraft“ gegenüber der Einschränkung des Budgetrechts abgewogen werden müsste. Alternativ könnte bei der vorgesehenen Anpassung auch auf den Automatismus verzichtet werden. Die notwendige Anpassung wäre dann in diesem Fall eine konkrete Beschlussempfehlung, über die jährlich im Rahmen der Haushaltsaufstellung im Bundestag abgestimmt wird.

Der Umstand, dass die Investitionsmittel Gegenstand der Haushaltsdebatte sind und dabei durchaus als Schwankungsreserve genutzt werden, steht für sich genommen ebenfalls einer jahresübergreifenden Planungssicherheit entgegen.²⁶⁷ Zur Stabilisierung des Budgets für die Verkehrsinfrastruktur bietet sich eine Verbreiterung der Finanzierungsbasis an. Hierzu sollte die Option einer stärkeren Nutzerfinanzierung geprüft werden. Dadurch kann das Budget verstetigt werden, da es vom Bundeshaushalt in größerem Umfang entkoppelt wird, d. h. Haushaltsmittel machen einen geringeren Anteil an den Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur aus. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die Mautpflicht in Deutschland auf alle Fahrzeuge ausgeweitet wird. In einem ersten Schritt würde diese Maut auf allen Straßen zur Pflicht werden, wo bisher schon für schwere Nutzfahrzeuge eine Mautpflicht besteht. In einer weiteren Ausbaustufe könnte die Pflicht dann auf alle Straßen ausgeweitet werden. Eine Maut sollte dabei streckenbezogen erhoben werden und nicht für einen bestimmten Zeitraum. Dies wäre aus Gründen des Klimaschutzes sinnvoller und hätte zudem den Vorteil, die Maut auch zur Verkehrssteuerung zu nutzen (siehe Kapitel 8.2.3). Die Ausweitung der Mautpflicht könnte in der heutigen Zeit vor dem Hintergrund der intensiven Klimadebatte mutmaßlich mit geringeren Widerständen eingeführt werden als noch vor einigen Jahren. Darüber hinaus könnte auf den Vorarbeiten zur Einführung der allgemeinen Mautpflicht mit gleichzeitiger Entlastung der deutschen Autofahrer, die im Juni durch den Europäischen Gerichtshof gekippt wurde, aufgesetzt werden.

267 Vgl. Bardt et al. (2014).

EXKURS: CITYMAUT

Eine Möglichkeit zur besseren Einbindung der Straßennutzer in die Finanzierung der öffentlichen Straßeninfrastruktur ist die Einführung einer „Citymaut“. Diese ist von ihrer Konzeption her in erster Linie ein „Lenkungspreis“, welcher der besseren Glättung von Verkehrsströmen dient und das Problem von Staus und Emissionen lösen soll.²⁶⁸ Als Nebeneffekt geht damit jedoch auch ein Übergang zu einer Nutzerfinanzierung des Straßenbaus mit bedarfsgerechter Kapazitätssteuerung einher.

Zahlreiche Wirtschaftswissenschaftler in Deutschland sprechen sich aktuell für die Einführung einer Citymaut aus, um sowohl Stauungskosten als auch Umwelt- und Gesundheitsgefahren effizient zu begegnen.²⁶⁹

Ziel einer „Bepreisung“ des Stadtverkehrs ist die effiziente Nutzung der bestehenden Straßeninfrastruktur sowie ihr nutzungsabhängiger Aus- oder Rückbau. Die Gemeinkosten des Kapazitätsaufbaus und -ausbaus sind langfristiger Natur und lassen sich nicht unmittelbar einem einzelnen Verkehrsteilnehmer zurechnen. Denn die gleiche Straßenkapazität wird zu unterschiedlichen Zeiten von unterschiedlichen Nutzern beansprucht.

Bei unvollständiger Auslastung sind Straßenkapazitäten ein „freies Gut“, dessen Preis aus volkswirtschaftlicher Sicht Null ist. Folglich sollten die Autofahrer in Schwachlastzeiten nur mit den direkt zurechenbaren Abnutzungs- und Verschmutzungskosten belastet werden. Diese dürften sich oftmals kaum im messbaren Bereich bewegen. Zur Deckung der fixen Kapazitätskosten tragen bei ökonomisch korrekter Ausgestaltung der Mautzahlungen nur die Autofahrer in den Hauptverkehrszeiten bei, in denen die Straßen vollständig ausgenutzt werden.

Der Administrator der Citymaut muss somit die Wege sämtlicher Fahrzeuge kontinuierlich überwachen und den Mautpreis an die aktuelle Straßensituation anpassen – auch in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps, da beispielsweise schwerere Wagen den Straßenbelag stärker abnutzen oder Elektroautos keine Schadstoffe ausstoßen.

Der technische Fortschritt ermöglicht es bereits, die Verkehrssituation und die konkrete Position der einzelnen Fahrzeuge in Echtzeit zu erfassen – auch in dicht besiedelten Innenstädten. Für eine korrekte Funktionsweise müssten jedoch die Mautpreise für eine bestimmte Fahrt bereits weit im Vorhinein bekannt sein, damit die Individuen eine effiziente Entscheidung für das Verkehrsmittel und den Reisezeitpunkt treffen können.

268 Vgl. die grundlegenden Beiträge von Vickrey (1963, 1969) und Arnott et al. (1990).

269 Vgl. RWI / Stiftung Mercator (2019), Wissenschaftlicher Beirat beim BMWi (2019).

Darüber hinaus stellen die zur Beschleunigung der Planungsverfahren diskutierten ÖPP unter Finanzierungsgesichtspunkten eine Option dar. Projekte, die der Staat zusammen mit privaten Unternehmen umsetzt, werden schneller realisiert. Außerdem gehen ÖPP mit einem geringeren finanziellen Aufwand für den Staat einher. Bei der künftigen Umsetzung von ÖPP ist allerdings zu beachten, dass realistische Annahmen zur Auslastung und damit zum Mautaufkommen gemacht werden müssen. Diese waren bei den ersten ÖPP zu hoch angesetzt, sodass sich Probleme für die privaten Partner ergaben.

8.3.2 AUSBAU UND ERNEUERUNG

Die zu erwartende Entwicklung des Mobilitätsaufkommens macht eine Erhöhung der Verkehrsinfrastrukturkapazität unumgänglich (siehe Kapitel 4.6). Dies kann allerdings nur in einem geringen Maße über einen tatsächlichen Ausbau erreicht werden. Viel mehr als eine Beseitigung der Engpassstellen, wie sie der Bundesverkehrswegeplan ausweist, dürfte nicht umsetzbar sein. Selbst dabei dürften die gesellschaftlichen Widerstände bereits groß sein.

Aus diesem Grund empfiehlt es sich, bei den geplanten Maßnahmen zu überprüfen, ob die Prioritäten des Bundesverkehrswegeplans den tatsächlichen Engpässen entsprechen. Die Ausarbeitung des Bundesverkehrswegeplans ist in großen Teilen Gegenstand politischer Verhandlungen zwischen dem Bund und den Ländern.²⁷⁰ Grundlage für die Verteilung der Projekte ist nicht selten der Königsteiner Schlüssel. Aus diesem Grund umfassen die priorisierten Projekte nicht die Engpassstellen mit der größten Überlastung. Um die Personen- sowie Gütermobilität jedoch im gesamten Bundesgebiet mit möglichst geringen Störungen zu ermöglichen, müssten aber genau diese Engpassstellen zuerst ausgebaut werden. Insofern sollte ein Länderproporz keine Rolle bei der Aufstellung der Ausbaupläne spielen oder zumindest nicht bei allen Projekten. So wäre eine Option, dass die 10 oder 15 überlasteten Engpassstellen zuerst ausgebaut werden, unabhängig davon, in welchem Bundesland sie liegen. Zur Gruppe der priorisierten Projekte sollten ebenfalls die deutschen Teilstücke des Transeuropäischen Verkehrsnetzes gehören. Hier verläuft der Ausbau innerhalb Deutschlands noch zu langsam bzw. schleppend. Erst bei der Umsetzung der folgenden Projekte wird auf eine Verteilung über verschiedene Bundesländer hinweg geachtet.

Bevor der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur sowie die Beseitigung von Engpassstellen angegangen wird, sollte es bei der Mittelverteilung einen Vorrang von Erhaltungsinvestitionen geben. Der aktuelle Bundesverkehrswegeplan hat im Gegensatz zu dem vorherigen Plan einen solchen Fokus.²⁷¹ Dieses gilt es beizubehalten. Dazu gehört insbesondere eine Intensivierung der Brückenerneuerungen. Bei dieser Erneuerung sollten aber schon Belastungsanforderungen der Zukunft berücksichtigt werden. Das heißt, dass die

270 Vgl. Bardt et al. (2014).

271 Vgl. Expertengespräch mit Klaus Deutsch.

Brücken mit Blick auf den Güterverkehr nicht nur für die heutige Belastung mit 44-Tonnen-LKWs ausgelegt sein müssen. Vielmehr sollten die Brücken bereits dafür gerüstet sein, falls im Zuge des steigenden Güterverkehrsaufkommens EuroCombi bzw. Megaliner mit 60 Tonnen Gesamtgewicht zum Einsatz kommen. Gleiches gilt für den Fall, dass LKWs mittels digitaler Lösungen – dem sogenannten Platooning – größere Konvois mit geringeren Abständen bilden, wodurch ebenfalls die Belastung der Brücken zunimmt.

In Zeiten der zunehmenden Bedeutung von Klimaschutz und damit einhergehend des Schienenverkehrs, gilt es besonders im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen die Kapazität der Schieneninfrastruktur zu steigern. Das beginnt ebenfalls beim Erhalt. Ähnlich wie bei der Straßeninfrastruktur sind auch im Schienennetz die Brücken neuralgische Punkte. Ein Großteil der Brücken sind so alt und verschlissen, dass sie erneuert werden müssen. Die neuen Brücken sollten dabei schon an etwaige Belastungsanforderungen von „übermorgen“ ausgerichtet werden. Wenn im Zuge einer stärkeren Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene eventuell die Züge länger und insbesondere schwerer werden, sollten die Brücken dafür bereits gerüstet sein.

Das Schienennetz sollte grundsätzlich so ausgebaut werden, dass es für längere Güterzüge nutzbar wird. Dies betrifft Ausweich- bzw. Überholmöglichkeiten. Dabei sollte ebenso in Betracht gezogen werden, das Maximum hinsichtlich der möglichen Zuglängen nicht nur von 600 auf 740 Meter – wie geplant – zu steigern, sondern auch Zuglängen von bis zu 1000 Metern zu ermöglichen. Bei diesem Ausbau können auch stillgelegte Schienenstrecken mit eingebunden werden.



Während diese Maßnahmen eher auf eine Verbesserung bei der Gütermobilität abzielen, gilt es darüber hinaus die Schieneninfrastruktur im Hinblick auf die Personenmobilität zu verbessern. Eine Option im Fernverkehr kann ein separates Hochgeschwindigkeitsschiennetz sein, das für den Personen-Fernverkehr reserviert ist. Damit sollten die zehn größten Metropolen in Deutschland verbunden werden. In Japan oder Frankreich ist das separate Hochgeschwindigkeitsschiennetz ein wesentlicher Grund dafür, dass dort eine größere Pünktlichkeit sowie Geschwindigkeit und Kapazität im Personenfernverkehr erreicht werden.²⁷² Wie immer bei Best-Practice-Beispielen aus anderen Ländern lassen sich diese Lösungen nur höchst selten eins zu eins übertragen, so auch in diesem Fall.²⁷³ Ein separates Hochgeschwindigkeitsschiennetz ist mit hohen Kosten verbunden. Die Kosten sind jedoch geringer als beim Bau eines Schiennetzes für den Mischverkehr.²⁷⁴ Da Personenzüge ein geringeres Gewicht als Güterzüge haben, muss der Schienenverlauf für Personenzüge nicht so flach sein. Folglich können die Gleise in größerem Umfang über Anhöhen führen, sodass weniger Tunnel benötigt werden.

Da der zunehmende Güterverkehr des Weiteren mit etwas größerem Umfang ebenso auf die Binnenwasserstraßen verlagert werden soll, das Verkehrsaufkommen also zunimmt, muss hier ebenfalls die Aufnahmefähigkeit gewährleistet werden. Dazu gehört die Erneuerung vieler Schleusen.

Ein Teil dieser Punkte für die Erhaltung und den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur sind schon auf dem Planungstableau der Politik. Aber wie so oft besteht die Schwierigkeit in der Umsetzung.

Dabei gilt es, die einzelnen Verkehrsträger nicht nur separat, sondern in ihren Interaktionsmöglichkeiten zu betrachten. Wichtig ist ebenso die Sicherstellung der Intermodalität, insbesondere beim Güterverkehr. Dies umfasst eine Anpassung der Übergabepunkte auf die Kapazitätsanforderungen. Dementsprechend müssen Güterbahnhöfe ausgebaut oder neugebaut werden; gleiches gilt für Binnenhäfen.

8.3.3 KAPAZITÄTSERWEITERUNG DES BESTEHENDEN NETZES

Es ist absehbar, dass der Ausbau und die Beseitigung von Engpassstellen bei der Verkehrsinfrastruktur nicht ausreichen, damit diese das künftig weiter steigende Mobilitätsaufkommen (siehe Kapitel 4) aufnehmen kann. Folglich muss die Kapazitätssteigerung insgesamt zum Großteil dadurch erfolgen, dass die Kapazität der aktuellen Infrastrukturausstattung erhöht wird.

Eine Option dafür im Bereich der Straße ist der Ausbau einer „intelligenten“ Verkehrssteuerung. Grundlage dafür ist allerdings zuerst, dass entlang der Verkehrswege ein

272 Vgl. Dambeck (2019), Wiek (2016).

273 Vgl. Expertengespräch mit Dirk Flege.

274 Vgl. Dambeck (2019).

flächendeckend adäquates Kommunikationsnetz (breitbandiges Fest- und Mobilfunknetz) vorliegt. Auf Basis dieser Netze kann eine Digitalisierung der Straßen und der Signalanlagen (z. B. Zufluss-Regel-Anlagen) erfolgen, sodass die Anlagen und Fahrzeuge miteinander vernetzt sind. Dadurch können beispielsweise die Signalanlagen Daten senden und mit den Fahrzeugen kommunizieren (Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation), damit die Daten in Echtzeit bei der Routenplanung berücksichtigt werden können. So kann ein Unfall eine sofortige Anpassung der Fahrroute anderer Fahrzeuge auslösen, sodass Staus minimiert werden. Streckenbeeinflussungsanlagen, temporäre Standstreifenfreigaben oder Zuflussregelungsanlagen können mit einem Datenaustausch schnell auf das aktuelle Verkehrsaufkommen reagieren und die Durchflusskapazität der Straßen optimieren.

Damit dies umsetzbar ist, muss allerdings eine unterstützende Infrastruktur bei dem Straßennetz (z. B. Signalanlagen) für die Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation etabliert sein. Bei Überarbeitungen oder Erneuerungen bestehender Anlagen sowie beim Bau neuer Anlagen sollte daher die digitale Anschlussfähigkeit berücksichtigt werden. Da es allerdings noch keinen festgelegten Kommunikationsstandard gibt (siehe Kapitel 4.2), kann die Umsetzung derzeit nur unvollständig erfolgen. Dies darf jedoch nicht davon abhalten, zumindest soweit möglich die Vorarbeiten bzw. Vorbereitungen der Anlagen durchzuführen. So sollte zumindest grundsätzlich eine drahtlose (mobilfunktechnische) Anbindung gewährleistet sein, die dann später auf den festgelegten Standard final ausgerichtet werden kann. Diesbezüglich wäre es wünschenswert, wenn die Verständigung auf einen allgemeinen Standard möglichst schnell erfolgt. Ohne diesen verzögert sich der Ausbau.

Zur besseren Verkehrslenkung und damit zur Kapazitätssteigerung dient darüber hinaus eine Maut.²⁷⁵ Diese müsste zeitabhängige bzw. aufkommensabhängige Tarife bieten. Bei ad-hoc-Fahrten richten sich die Preise nach dem aktuellen Aufkommen. Ist dieses hoch, sind die Preise für die Benutzung der Straßeninfrastruktur ebenfalls höher. Dies kann wiederum von den Bürgern bei der Abwägung berücksichtigt werden, ob die Fahrt mit dem Auto oder dem Zug durchgeführt wird.

Zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit der Straßeninfrastruktur im Bereich des Güterverkehrs ist eine Aufhebung des Sonn- und Feiertagsfahrverbots zu prüfen. Die Straßennutzung an diesen Tagen kann mit höheren Mautsätzen verknüpft werden. Zwei wesentliche Gründe für dieses Verbot ist die Vermeidung von Sonn- und Feiertagsarbeit der Kraftfahrzeugfahrer sowie die größere Straßenauslastung durch das private Verkehrsaufkommen. Beide Argumente sind allerdings nur begrenzt überzeugend. Zum einen gibt es bereits zahlreiche Ausnahmen von diesem Verbot. Zum anderen kann das höhere Verkehrsaufkommen über die Höhe der Mautsätze gesteuert werden. Eine höhere Auslastung hätte höhere Sätze zur Folge, womit eine Lenkung der Mobilität auf andere Verkehrsträger erfolgen könnte.

275 Vgl. Gawel (2018).

Eine weitere Option zur Kapazitätssteigerung ist die Einführung eines allgemeinen Tempolimits, womit zudem ein Klimaschutzaspekt verbunden wäre. Ist beispielsweise auf der Autobahn nur noch eine maximale Geschwindigkeit von 130 km/h erlaubt, werden die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen verschiedenen Fahrzeugen verringert. Dadurch steigt die Kapazität der Verkehrsinfrastruktur.

Während die bisher genannten Optionen bei der Straße ansetzen, skizziert das Projekt der Deutschen Bahn „Digitale Schiene Deutschland“ die Möglichkeiten zur Kapazitätsausweitung des bestehenden Schienennetzes. Insofern sollten die Anstrengungen und finanzielle Mittel darauf verwendet werden, die beiden zentralen Aspekte – Digitalisierung der Stellwerke und flächendeckende Einführung des European Train Control System (ETCS) – schnellstmöglich umzusetzen; im Idealfall wäre der Plan schon vor 2040 umgesetzt.

Im vorherigen Kapitel wurde ein eigenes Hochgeschwindigkeitsschienennetz als Option zur Verbesserung der Personenmobilität auf der Schiene präsentiert. Stehen Gründe wie zu hohe Kosten oder gesellschaftliche Widerstände einer Umsetzung im Wege, empfiehlt es sich, die von der Bundesregierung bereits in die Überlegungen einbezogene Anwendung des in der Schweiz praktizierten Prinzips der Systemtrassen²⁷⁶ in Erwägung zu ziehen. Dabei reserviert der Netzbetreiber Trassen für bestimmte Zugtypen wie Hochgeschwindigkeitszüge, Regionalzüge oder Güterzüge für einen bestimmten Zeitraum. Unterschiedlich schnell fahrende Züge werden so voneinander getrennt, mit der Folge, dass die Trassenkapazität steigt.

Diese Optionen für die Kapazitätserweiterung des bestehenden Netzes, sodass die Verkehrsinfrastruktur für das künftige Mobilitätsaufkommen gerüstet ist, sind allerdings zum Großteil nur mit der passenden digitalen Infrastruktur – neben Glasfaserkabeln auch die passende oberirdische Mobilfunkinfrastruktur – umsetzbar.

8.4 DIGITALE INFRASTRUKTUR

Da die digitale Infrastruktur in Deutschland durchweg privatwirtschaftlich finanziert wird, besteht die Hauptaufgabe der Politik darin, bessere Rahmenbedingungen für eine zügige Digitalisierung zu schaffen. Dies reicht von eher symbolischen Zielvorgaben über die Optimierung der Regulierung bis hin zu einer besseren Förderung. Industrie und Gesellschaft befinden sich mitten in der digitalen Transformation, sodass der digitalen

²⁷⁶ Vgl. Schlesinger (2019).

Infrastruktur eine Schlüsselrolle für die Entwicklung des gesellschaftlichen Wohlstands zukommt. Auch wenn derzeit die Zahlungsbereitschaft für viele hochwertige Dienste noch gering ist, sollte aus volkswirtschaftlicher Sicht mit Blick auf die Zukunft das Leitprinzip gelten: „Nicht auf die Nachfrage warten, sondern mit der Infrastruktur vorlegen!“

Die gesamte Digitalbranche leidet unter dem Mangel an verfügbaren Fachkräften aus dem Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT). Folglich ist alsbald eine umfassende Strategie notwendig, um IKT-Fachkräfte anzuwerben bzw. aus- und weiterzubilden. Hierzu gehört auch die Ansiedlung von Pilotforschungsprojekten, die (internationale) Talente anziehen, denn fachspezifische Arbeitsmärkte entwickeln sich oftmals im Umkreis von Hochschulen. Bereits getroffene Maßnahmen sollten auf ihre Wirksamkeit hin überprüft und gegebenenfalls ergänzt werden.

In der Vergangenheit war der Hauptzweck der digitalen Infrastruktur die Ermöglichung der Sprachkommunikation und des Austauschs von Informationen. Bereits heute und zunehmend in der Zukunft wird die digitale Infrastruktur jedoch mit anderen Dimensionen der Infrastruktur (z. B. Verkehrsinfrastruktur) „verschmelzen“. Darüber hinaus wird sie für immer mehr Anwendungsbereiche abseits der Kommunikation die wesentliche Grundlage sein (z. B. Mobilität, Medizin). Wenn somit der digitalen Infrastruktur ein neuer, zusätzlicher Zweck zukommt, sollte auch überprüft werden, ob der durch das Telekommunikationsgesetz gesteckte rechtliche Rahmen zeitgemäß ist oder einer Überarbeitung bzw. Ausweitung bedarf.

Darüber hinaus spielt bei der Erstellung von „Systemgütern“ die Kompatibilität von Infrastruktur und Anwendungen eine wichtige Rolle. Beispielsweise müssen für eine smarte Verkehrslenkung Fahrzeuge und fest installierte Komponenten wie Ampeln und Verkehrszeichen in der Lage sein, effizient miteinander zu interagieren. Sofern die digitale Infrastruktur eine Vorreiterrolle für die Entwicklung innovativer Industrien spielen soll, muss deshalb im Vorhinein klar sein, welche Standards ausgebaut werden. Hierzu ist eine Koordination zwischen den verschiedenen Marktseiten vonnöten. Diese kann sich zwar spontan im Marktprozess ergeben, aber in den meisten Fällen ist eine Kommunikationslösung effizienter. Deshalb sollten Gremien zur Etablierung industrieweiter Standards gefördert werden, bei denen möglichst viele Beteiligte ein Mitspracherecht erhalten.

8.4.1 LEITUNGSGEBUNDENE INFRASTRUKTUREN

Die Politik muss für adäquate Rahmenbedingungen für den Ausbau der digitalen Infrastruktur sorgen. Dazu gehören auch die formulierten Zielsetzungen, die das Handeln der Netzbetreiber und der Regulierungsbehörden bestimmen. Sind diese wenig ambitioniert



und damit zwar für den kurzfristigen Bedarf geeignet, aber nicht für den mittel- und langfristigen, werden unter Umständen Maßnahmen induziert, die nur kurzfristig von Vorteil sind. Ein Beispiel war das Ziel der früheren Bundesregierung, jeden Haushalt bis 2018 mit einem 50 Mbit/s-Anschluss zu versorgen. Im Zuge dessen kam es zur „Vectoring-II-Entscheidung“ der Bundesnetzagentur, welche der Deutschen Telekom ein Exklusivrecht zum Ausbau von VDSL-Vectoring im Nahbereich der Hauptverteiler gewährt hat.²⁷⁷ Dies war zwar zur Erreichung des Ziels zweckdienlich, erweist sich aber für die weitere Verbesserung der digitalen Infrastruktur als kontraproduktiv. Insofern war es wichtig, dass die aktuelle Bundesregierung nun eine flächendeckende Verfügbarkeit einer gigabitfähigen Infrastruktur bis 2025 anstrebt.²⁷⁸ Mit diesem klaren Signal können nun zukunftsweisende Maßnahmen ergriffen werden.

In Bezug auf die staatlichen Interventionen ist eine Verstärkung der Investitions- und Förderzusagen für die ausbauenden Unternehmen wichtig. Zeit ist nur begrenzt durch Geld substituierbar, sodass sich die Versäumnisse der Vergangenheit nicht sehr schnell aufholen lassen. Beispielsweise würde eine sprunghafte Erhöhung der Investitionsnachfrage infolge von höheren Fördergeldern, die in den Markt „gepresst“ werden, keineswegs zu einer Beschleunigung des Glasfaserausbaus führen, sondern vor allem als „Turbo“ der Investitionskosten wirken, da im Tiefbau bereits Engpässe bestehen (siehe Kapitel 6.1).



277 Vgl. Wernick et al. (2017)

278 Vgl. Bundesregierung (2019c).

Darüber hinaus sollte die staatliche Investitionsförderung vorrangig dort ansetzen, wo der Ausbau am unwirtschaftlichsten ist. Dazu sollte geprüft werden, ob das aktuelle Fördersystem dafür die richtigen Anreize setzt. Gegebenenfalls müssen die Fördersätze degressiver gestaltet werden, sodass sich die Unternehmen beim geförderten Ausbau vorrangig um die „weißen Flecken“ kümmern.

Eine moderne digitale Infrastruktur dient nicht zuletzt der Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse (siehe Kapitel 5.2). Insofern kann die Förderung von Glasfaserprojekten grundsätzlich als allgemeine Strukturförderpolitik zur Erreichung gleichwertiger Lebensverhältnisse aufgefasst werden. Damit kommen für die Förderung mehr Bundesministerien in Frage als nur das BMVI. Das Budget kann auch in Teilen vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen der Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“ (GRW) bereitgestellt werden sowie vom Bundesinnenministerium mit dem Fokus auf „Heimat“. Damit ließe sich die Verstetigung der Fördermittel eher gewährleisten, da das Budget auf mehreren Säulen steht. Darüber hinaus kann dies zu einer besseren Koordinierung mit anderen Förderprojekten beitragen. Die Förderung von Glasfaserprojekten im ländlichen Raum ist nur ein Baustein in der Förderung ländlicher oder strukturschwacher Regionen. Mittels einer besseren Koordination könnte der Fördereffekt insgesamt potenziell größer ausfallen.

Mit Blick auf die Regulierung sollte eine kontinuierliche Überprüfung auf mögliche Fehlanreize stattfinden. So muss eine konsequente Verhinderung des „strategischen Überbaus“ geförderter Glasfaserausbauprojekte gewährleistet sein, um die Investitionsprojekte finanziell abzusichern. Auch die Rückführung der Regulierung für (potenziell) marktmächtige Unternehmen könnte zu einer besseren Amortisierung der Netzwerkinvestitionen beitragen.²⁷⁹ Beispielsweise könnte die ex-ante-Regulierung der Vorleistungspreise aufgegeben werden zugunsten einer Open-Access-Regulierung, die ex post Diskriminierung ahndet.

Weitreichender wäre eine Abkehr vom Primat des Infrastrukturwettbewerbs als Regulierungsparadigma. Zwar hat sich der Infrastrukturwettbewerb – insbesondere die Konkurrenz zwischen DSL- und HFC-Netzen – in der Vergangenheit als Investitionsmotor erwiesen, jedoch ist seit einigen Jahren eine Art „Roll back“ zu erkennen. Angesichts konvergierender Netze aufgrund der All-IP-Migration müssen einstmals bewährte Regulierungsprinzipien neu überdacht werden. Aus ökonomischer Sicht ist das Glasfasernetz in einer bestimmten Region ein natürliches Monopol. Deshalb geht der Doppelausbau mit einer Kostenduplizierung einher. Folglich wäre die Gebietsexklusivität, gekoppelt an Ausbau- und Open-Access-Auflagen, eine effiziente Möglichkeit zur Schließung „weißer Flecken“. Die Erschließung dünn besiedelter Regionen innerhalb eines Gebietes könnte das ausbauende Unternehmen durch die attraktiven Ballungsräume querfinanzieren. Ein Umsetzungsbeispiel ist das vom Deutschen Landkreistag

279 Vgl. Wernick et al. (2017).



vorgeschlagene Konzessionsmodell.²⁸⁰ Ansatzpunkt ist hierbei das Wegerecht, welches nach dem Telekommunikationsgesetz (§ 68 f. TKG) dem Bund zusteht.

Die Förderkonzepte sind ebenfalls auf den Prüfstand zu stellen – sowohl angesichts der Netzkonvergenz als auch der offenkundigen Probleme bei der Erschließung der „weißen Flecken“. Da auch der Mobilfunk bei der Anbindung der Funkmaste auf Glasfasernetzen basiert, sollten Festnetz- und Mobilfunkförderung vereinheitlicht werden und koordiniert erfolgen. Konvergente Netze erfordern eine konvergente Förderung. Zudem kommen zur Versorgung ländlicher Gebiete möglicherweise die relativ kostengünstigeren LTE-Mobilfunknetze als Alternative für festnetzgebundene Technologien infrage, da mit LTE-Advanced bereits Bandbreiten bereitgestellt werden können, die zumindest für Normalnutzer ausreichend sind. Mit der Aufrüstung auf 5G verbessern sich die Leistungsparameter nochmals deutlich. Jedoch ist bei der Abwägung zwischen festen und mobilen Internetanbindungen zu beachten, dass Mobilfunk ein „Shared Medium“ bleibt, das ab einem bestimmten kritischen Auslastungsniveau durch Nutzungs rivalität

280 Vgl. Deutscher Landkreistag (2017).

gekennzeichnet ist. Das heißt, dass die Leistungsfähigkeit der Verbindung mit der Anzahl der Nutzer, die sich in der gleichen Mobilfunkzelle befinden, sinkt.

Ein innovatives Förderkonzept, das zur effizienten Erschließung unterversorgter Regionen beitragen kann, sind beispielsweise „negative Auktionen“, wie sie bislang vor allem für den Mobilfunk diskutiert werden.²⁸¹ Dabei wird der Ausbau einer bestimmten Region an denjenigen Anbieter „versteigert“, welcher den geringsten Subventionsbedarf anmeldet. Im Gegensatz zur bisherigen Bezuschussung der Ausbaukosten beseitigt dies viele Informationsprobleme, welche der Staat gegenüber den privaten Bauträgern hat. Allerdings ist die Funktionsvoraussetzung dieses Mechanismus, dass sich genügend potenzielle Netzbetreiber an der negativen Auktion beteiligen.

Eine weitere Option für eine tiefgreifende Veränderung der bisherigen Ausbauförderung sind Gutscheine zur Stimulierung der Nachfrage nach Glasfaseranschlüssen. Dieser Ansatz stellt insofern einen Paradigmenwechsel dar als nicht mehr die Ausbaukosten, sondern die Zahlungsbereitschaften der Nutzer subventioniert werden. Der Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten (VATM) hat in einem Positionspapier eine derartige „Voucher-Lösung“ vorgeschlagen.²⁸² Dabei handelt es sich um Gutscheine für Glasfaseranschlüsse, die nur in Gebieten ausgegeben werden, die noch nicht mit gigabitfähigen Netzen versorgt sind. Somit wird ein geförderter „Überbau“ von FTTH/B- oder HFC-Netzen ausgeschlossen. Die Gutscheine sollen Hauseigentümern den Anschluss an das Glasfasernetz und Mietern den Wechsel von Kupfer (DSL) auf Glasfaser (FTTH/B) erleichtern. Entsprechend wird zwischen Anschluss- und Vertrags-Gutscheinen unterschieden. Nordrhein-Westfalen hat als erstes Bundesland ein derartiges Gutscheinprogramm aufgelegt, das zunächst auf eine Million Euro dotiert ist.



Jürgen Grützner (VATM)

Ausgangssituation: Breitband-Festnetze in Deutschland

Die traditionelle Telekommunikationsinfrastruktur in Deutschland besteht aus Kupfer-Doppeladern zu den Kabelverzweigern am Straßenrand und jedem Teilnehmeranschluss. Die Deutsche Telekom betreibt das Kupfernetz seit etwa hundert Jahren, bis

281 Vgl. Delhaes (2019e).

282 Vgl. VATM (2019).

1998 in der Nachfolge der Post als Monopolist. Sie hat diese Ausgangssituation genutzt, um die Kabelverzweiger nach einem entsprechenden Beschluss der Bundesnetzagentur weitgehend mit VDSL-Vectoring aufzurüsten – was in vielen anderen Ländern in dieser Form gar nicht möglich ist. Auch wenn VDSL als FTTC-Technologie („Fibre to the Curb“) bezeichnet wird, haben wir trotzdem bis heute noch relativ selten Glasfaser an der Bordsteinkante des jeweiligen Gebäudes: Die Glasfaser am Kabelverzweiger liegt im Schnitt immer noch zwischen einem halben und einem Kilometer vom Kunden entfernt, insbesondere im ländlichen Raum.

Vor allem beschert uns VDSL-Vectoring in der Versorgung einen riesigen Flickenteppich: Die versprochenen Bandbreiten von „bis zu“ 100 Mbit/s – oder sogar „bis zu“ 250 Mbit/s mit Super-Vectoring – stehen nämlich nur für Kunden bereit, die in einem engen Einzugsbereich um den Kabelverzweiger leben. Das sind innerhalb eines Vectoring-Gebietes allenfalls 40, möglicherweise sogar nur 30 Prozent der Haushalte. Der Rest kann diese Bandbreiten nicht abrufen. Das hat man den Bürgern wohl nicht so sagen wollen – und die Politik hat sich darauf eingelassen: Man leistet sich keine ehrliche öffentliche Auseinandersetzung mit der Problematik. Für die Deutsche Telekom ist dies das beste Ausbauszenario und nachvollziehbar, aber nicht für Deutschland.

Neben den klassischen Telekommunikationsnetzen gibt es die TV-Kabelnetze, deren Hausanschluss auf dem Kupfer-Koaxialkabel basiert. Sie erlauben mit dem etablierten Übertragungsstandard Docsis 3.0 bereits Bandbreiten von „bis zu“ 400 Mbit/s. Durch eine technische Aufrüstung auf Docsis 3.1 erhöht sich die Bandbreite auf ein Gbit/s und zukünftig sicher noch deutlich mehr, jedoch erfordert dies eine weitere Heranführung der Glasfaser hin zum Kunden. Ungefähr 65 Prozent der Bevölkerung sind derzeit an das TV-Kabelnetz angeschlossen. Dieser Anteil wird sich bis 2025 auf 70 Prozent erhöhen. Das heißt, vor allem für die restlichen 30 Prozent werden große Anstrengungen erforderlich sein.

Mit den HFC-Netzen („Hybrid Fibre Coaxial“) der TV-Kabelbetreiber existiert in allen städtischen und halb-städtischen Regionen sowie in manchen ländlichen Bereichen eine Versorgung, die sich relativ einfach gigabitfähig machen lässt. Die Kabelnetzbetreiber haben einen starken Anreiz, entsprechende Aufrüstungsinvestitionen durchzuführen – allein schon, um ihre bestehenden Infrastrukturen gegen konkurrierende FTTB/H-Investoren abzusichern, vor allem aber auch um die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Vectoring weiter auszubauen. Neben der höheren Leistungsfähigkeit haben die HFC-Netze gegenüber der DSL-Technologie den großen Vorteil, dass sie „stückchenweise“ ausgebaut werden können. D. h. Kupfer-Koaxialkabel werden Stück für Stück durch Glasfaserkabel ersetzt. Somit kann man die Übertragungskapazitäten bedarfsgerecht dort erweitern, wo die Kunden sitzen.

Von der „Bis zu“-Problematik kommen wir nur weg durch Investitionen in Glasfaserverbindungen bis ins Haus oder die Wohnung, denn nur mit FTTH/B-Technologien („Fibre to the Home“ / „Fibre to the Building“) erreicht man gesicherte Bandbreiten. Die Docsis-3.1-Anschlüsse und 90 Prozent der gebuchten FTTB/H-Anschlüsse werden von den Wettbewerbern der Telekom bereitgestellt.

Förderbedarf und innovative Förderinstrumente

In Bezug auf das Gigabit-Ziel gibt es ein Problem mit den 30 Prozent der Haushalte, die nicht durch die HFC-Netze erschlossen werden können. Dies sind die sogenannten „grauen Flecken“, die von der DSL-Technologie auf die Glasfaser-Technologie umgerüstet werden müssen. In der Realität gibt es aber auch noch zahlreiche „weiße Flecken“, in denen eine Versorgung von nicht einmal 30 Mbit/s besteht. Hier müssen nun die Investitionsbemühungen hingelenkt werden. Deshalb sind vornehmlich diese 30 Prozent Gegenstand sämtlicher Anstrengungen und Fördermaßnahmen des BMVI.

Obwohl das Marktvolumen in vielen Regionen schon für einen eigenwirtschaftlichen echten Glasfaserausbau ausreicht, gilt dies längst nicht für das gesamte Bundesgebiet. Deshalb müssen die staatlichen Förderkonzepte überdacht werden: Statt der bisher üblichen Bezuschussungen von Tiefbau-Investitionen, sollte die Nachfrage stärker gefördert werden. Wenn mehr Kunden auf die Glasfasernetze bis ins Haus oder die Wohnung gebracht werden, amortisiert sich deren Ausbau deutlich besser und schneller, als wenn nur das „Buddeln und Graben“ finanziell unterstützt wird. Insbesondere würde dadurch aber auch den Digitalisierungszielen der Bundesregierung Rechnung getragen, denn geförderte Netze ohne Kunden sind teuer und nicht sinnvoll.

Wir wissen aber bis heute noch nicht, ob Glasfaser-Gutscheine (sogenannte „Voucher“) staatlich ausgegeben werden. Es gibt hier einen Vorschlag der Verbände BREKO und VATM für eine solche Bürger-Förderung, aber noch keine staatliche Konzeption, die mit der EU-Kommission abgestimmt ist. Im Grunde setzt die Bundesregierung immer noch auf alte Förderkonzepte, von denen alle wissen, dass sie nicht richtig verfangen. Voucher zielen nicht nur auf die bislang unversorgten „weißen Flecken“ ab, sondern auch auf diejenigen Regionen, in denen heute schon bis zu 30, 50 oder 100 Mbit/s angeboten werden. Die Bürger hier zum Wechsel zu einer zukunftsfähigen Gigabit-Technologie zu bewegen, ist ohne eine Nachfrageförderung relativ schwer.

Regulierungspolitik im Ländervergleich

Bislang wird hierzulande über einige regulierungspolitische Fragen gar nicht diskutiert, z. B.:

- Kann man die vollständige Abschaltung des Kupferkabelnetzes beschließen und alle Anbieter auf ein dann entsprechend ausgelastetes und damit kostengünstiges Glasfasernetz migrieren?
- Kann man die Deutsche Telekom verpflichten, das Glasfasernetz eines Wettbewerbers auf Basis von Vorleistungsprodukten mit zu nutzen, damit es besser ausgelastet wird?

Derzeit beharrt die Deutsche Telekom auf der Parallelnutzung von VDSL-Vectoring und hebt damit die Business-Cases von Unternehmen aus, die in Glasfaser investieren. So werden teils Gebiete, die eigentlich schon mit Glasfaser erschlossen sind, im Nachhinein nochmals mit VDSL-Vectoring strategisch „überbaut“.

In anderen Ländern hat man das Kupferkabel abgeschaltet und auf eine Open-Access-Regulierung gesetzt. Der Glasfaserausbau wurde durch Konzessions-Modelle vorangetrieben: Man hat Unternehmen ein exklusives Ausbauggebiet garantiert, das sie vollständig mit Glasfaser erschließen und ihren Wettbewerbern auf Basis von Vorleistungsprodukten öffnen müssen. Open Access ist der Garant dafür, dass sich in vielen ländlichen Bereichen überhaupt ein Netz rentiert. Die Unternehmen müssen sich darüber im Klaren sein: Wenn man ein Monopolnetz baut, muss man entweder freiwillig Open Access gewähren, oder man wird irgendwann ab bestimmten Marktanteilen gesetzlich dazu gezwungen.

In den Städten haben wir kein Problem, dort führt der Wettbewerb zu zwei oder sogar drei parallelen Netzen.

In Deutschland hat man sich vor langer Zeit auf das Prinzip des infrastrukturbasierten Wettbewerbs festgelegt. Jetzt erkennen wir, dass dieses Regulierungsprinzip nicht überall die gewünschten Ergebnisse liefert: Vielerorts ist der Infrastrukturwettbewerb der Tod für den Glasfaserausbau. Aber ihn wieder rückgängig zu machen, ist ebenso schwer, wie Zahnpasta zurück in die Tube zu drücken. Folge: Für die Versorgungsdefizite, die wir in Deutschland haben und die etwa 30 Prozent der Haushalte betreffen, bekommen wir keinen geschlossenen Rollout hin. Denn die „weißen Flecken“ sind komplett über das Land verstreut und gar nicht einzeln adressierbar. Was im Ausland funktioniert, funktioniert in Deutschland nicht mehr. Man hat hier die Weichen anders gestellt, nicht zuletzt weil die Deutsche Telekom unter allen Umständen ein Konzessions-Modell mit Gebietsexklusivität vermeiden wollte – es sei denn, man hätte sie hier als Alleinbetreiber eingesetzt.

Tatsächlich hat sich aber gezeigt, dass die Deutsche Telekom ohne den Konkurrenzdruck der Wettbewerber nicht in ihre Netze investiert: Die Deutsche Telekom baut immer da, wo sie Kunden verliert, die Wettbewerber bauen immer da, wo sie Kunden gewinnen. Das ist der grundlegende, aber auch aus der Geschichte verständliche Unterschied in der Investitionsstrategie von Verteidigern und Angreifern.

Politische Versäumnisse

Vectoring im Nahbereich der Hauptverteiler – die sogenannte „Vectoring-2-Entscheidung“ der Bundesnetzagentur – war die Folge einer politischen Festlegung auf Vectoring und aus heutiger Sicht eine Katastrophe für den Glasfaserausbau: In Gebieten, in denen VDSL-Vectoring mit Bandbreiten bis zu 250 Mbit/s verfügbar ist, ist die Restnachfrage so schwach, dass sich Investitionen in Glasfasernetze weniger rentieren. Der Grund für die Fehlentscheidung des Regulierers war das kurzfristige Breitbandziel der Bundesregierung von 50 Mbit/s bis Ende 2018. Man hätte von Anfang an bereits ein langfristiges Ziel definieren sowie Ideen entwickeln müssen, wie man später auch dieses bestmöglich erreichen kann. Aber der damalige Bundesverkehrsminister war dazu nicht bereit.

Nun wollen wir bis 2025 eine flächendeckende Verfügbarkeit von Gigabitnetzen. Hätten wir dieses Projekt konsequent im Jahr 2015 angepackt, wäre es zu schaffen gewesen. Aber damals waren zehn Jahre für die Politik noch zu weit weg. Und jetzt ist diese Zeitvorgabe völlig unrealistisch. Zumal wenn man parallel den Vectoring-Ausbau weiter vorantreibt, der zum Teil mit dem Überbau bereits bestehender Gigabittechnologien einhergeht. Zwar wird dieser nicht mehr im Rahmen des aktuellen Breitbandförderprogramms staatlich bezuschusst, aber die Alt-Förderung läuft weiterhin. Das heißt, es werden aktuell mit öffentlichen Fördergeldern VDSL-Netze mit Vectoring ausgebaut, obwohl eigentlich schon längst die Losung ausgegeben wurde: Wir wollen Gigabitnetze.

Was zu tun ist

Wir müssen für die deutsche Wirtschaft die Glasfasernetze nach dem gleichen Prinzip ausbauen, wie wir die Autobahnen für die LKW ausgebaut haben, nämlich vorausschauend: Nicht erst warten, bis keiner mehr fahren oder surfen kann. Dabei kann man einen Glasfaseranschluss nicht punktuell wie ein Abwasserrohr verlegen, das macht betriebswirtschaftlich keinen Sinn – entgegen anderslautenden politischen Ankündigungen (Stichwort: „Glasfaser für jede Schule“). Vielmehr müssen, wenn irgend möglich, stets ganze Gebiete ausgebaut werden.

Der Ausbau-Fokus sollte zunächst auf den „kritischen“ 30 Prozent der Teilnehmeranschlüsse liegen. Diese befinden sich im ländlichen Bereich und damit gerade dort, wo auch häufig die mittelständische Industrie anzutreffen ist. Ein Großteil der Industrie in Deutschland sitzt nämlich weder in einem städtischen Ballungsraum noch dort, wo es HFC-Netze gibt, denn das TV-Kabel ist vor allem ein Privatkundenprodukt. Wenn wir also Landflucht vermeiden wollen und in benachteiligten Regionen die Infrastruktur angleichen und Arbeitsplätze sichern wollen, müssen wir uns in der Förderung auf diese 30 Prozent konzentrieren. Dabei gilt: Wenn man sich an den Bedürfnissen der deutschen Wirtschaft ausrichtet, hat man die Bevölkerung automatisch mitversorgt.

Neben den unterschiedlichen Investitionsanreizen der Deutschen Telekom und ihrer Wettbewerber muss die Politik dabei vor allem die begrenzten Baukapazitäten berücksichtigen. Denn man kann nicht gleichzeitig überall bauen. Vielmehr benötigen wir einen systematischen Ausbauplan: Der Ausbau in bestimmten, besonders gut und erst seit kurzem versorgten Regionen muss verzögert werden, um ihn in anderen – schlechter versorgten – Regionen prioritär voranzutreiben. Hierzu ist nicht nur eine Priorisierung notwendig, sondern auch viel politische Erklärungsarbeit: Es kann nun mal leider nicht jeder der Erste sein. Aber der Egoismus der Bundesländer und der Kommunen ist derzeit so groß, dass wir nicht zu einem solchen koordinierten System finden. Deshalb herrscht Chaos: Wer zuerst einen Antrag auf Fördermittel einreicht, geht zuerst in den Ausbau. Priorisierung nach Bedürftigkeit und bei gleicher Bedürftigkeit im ländlichen Raum dort, wo die meisten Bürger davon profitieren können, wäre klüger für das Ziel der Digitalisierung unseres Landes.

Auch in Bezug auf den Zeitrahmen sollte man realistisch sein: Das Ziel einer nahezu flächendeckenden Glasfaser-Verfügbarkeit kann man erst 2030 erreichen. Jedoch traut man sich nicht, dies ehrlich zu sagen. Wenn man es richtig plant, könnte man zumindest jeder Kommune bis 2025 die Sicherheit geben, dass sie bis 2030 Glasfaser haben wird.

Der gegenwärtig zuständige Bundesminister hat ebenso wie sein Vorgänger stark auf Ankündigungspolitik gesetzt. Wie man zu konkreten Lösungen kommt, bleibt häufig offen. Natürlich brauchen wir ambitionierte Ziele, aber wenn man nicht weiß, wie diese erreicht werden können und keine entsprechenden Strukturen fixiert, wird man sie nicht erreichen. Daher ist das Papier, das die Branche im Zuge des Digital-Gipfels der Bundesregierung gemeinsam erarbeitet hat, sehr wichtig. Es enthält sehr gute und konkrete Umsetzungsvorschläge für die Beschleunigung des Gigabitausbaus und muss nun konsequent umgesetzt werden.

Bei der Priorisierung der Ausbauprojekte auf dem Land sollte man dort ansetzen, wo die Nachfrage am stärksten ist. Im Wege der Förderung kann man dies beispielsweise mit der Voucher-Lösung umsetzen. Angesichts begrenzter Kapazitäten sollte man die Bagger zuerst dorthin schicken, wo auf einem Bauabschnitt die meisten Kunden an das Glasfasernetz angeschlossen werden können – gerade auf dem Land.

Leider gelingt es in Deutschland – anders als in Frankreich – außerdem juristisch bislang nicht, einen Geschäftskundenmarkt zu definieren, den man bei den Ausbauzielen besonders ins Visier nehmen kann. Mangels einer konkreten Marktabgrenzung lässt sich dieser wichtige Teilmarkt auch nicht regulierungspolitisch gestalten.

Ein weiteres Problem: Es gibt sechs Bundesministerien, welche eigene Digitalisierungsstrategien entwickeln. Eine solche Fragmentierung lässt sich nicht vermeiden. Aber gerade deshalb ist auch eine zentrale Stelle nötig, die diese unkoordinierten Bemühungen zu einem Gesamtkonzept zusammenfügt. Obwohl die digitale Infrastruktur zukunftsweisend für die deutsche Wirtschaft ist, hat die Politik in diesem Bereich kaum Zukunftsperspektiven entwickelt, sondern agiert eher erratisch.

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Interview der Autoren mit Jürgen Grützner.

Jürgen Grützner ist Geschäftsführer Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten (VATM)

8.4.2 MOBILFUNKINFRASTRUKTUR

Die Politik sollte bereit sein, eine ambitionierte, aber realistische Perspektive für den Ausbau der Mobilfunknetze zu eröffnen. Bevor jede sprichwörtliche Milchkanne mit 5G versorgt wird, müssen zunächst konsequent sämtliche Funklöcher entlang der Verkehrswege abgedeckt werden. Bislang verfehlt der Mobilfunk in Deutschland seine originäre Aufgabe, nahtlose Sprachkommunikation zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang gilt es auch, den Netzbetrieb effizienter zu gestalten, beispielsweise durch neue Technologien aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz.

Trotz der Kritik vonseiten der Netzbetreiber empfiehlt es sich, grundsätzlich an der Praxis der Frequenzvergabe durch Auktionen festzuhalten, da sich diese Praxis als ein effizientes Verfahren zur Frequenzallokation bewährt hat. Das Frequenzspektrum ist nach wie vor ein knapper Faktor, welcher an diejenigen vergeben werden sollte, der ihn am wirtschaftlichsten einsetzen kann. Auch der internationale Dachverband der Mobil-

funkanbieter GSMA konzidiert, dass die Versteigerung von Mobilfunklizenzen grundsätzlich ein transparentes, diskriminierungsfreies und rechtssicheres Mittel zur Allokation von Frequenzbändern an die effizientesten Nutzer darstellt.²⁸³

Die deutschen Netzbetreiber beklagen jedoch, dass kostspielige Auktionsverfahren dem Markt Liquidität entziehen, die danach nicht mehr für Netzinvestitionen zur Verfügung steht. So hätten mit dem Erlös von knapp 6,6 Milliarden Euro, die die Versteigerung der 5G-Lizenzen vom Juni 2019 erbracht hat, etwa 50.000 neue Funkmaste finanziert werden können.²⁸⁴ Eine Studie des GSMA belegt einen direkten Zusammenhang zwischen hohen Preisen für das Frequenzspektrum und einem langsamen Netzausbau, einer verminderten Netzqualität und einer schlechteren Netzabdeckung.²⁸⁵

Zuteilungsmechanismen, welche entweder die Frequenzpreise in die Höhe treiben oder die Frequenzvergabe hinauszögern, beeinträchtigen folglich die Mobilfunkversorgung. Deshalb sollte das eingesetzte Auktionsverfahren einer permanenten Optimierung unterzogen werden: Das Auktions-Design sollte darauf abzielen, die knappen Frequenzen bestmöglich zu bewirtschaften und nicht darauf, die höchstmöglichen Staatseinnahmen zu erzielen.²⁸⁶ Darüber hinaus müssen die Aktionseinnahmen wie angekündigt in vollem Umfang in die Ausbauförderung zur Schließung der „weißen Flecken“ fließen.

Eine freie Vergabe der Frequenzen als Alternative zur Auktion würde auch einige Nachteile mit sich bringen: Zuerst müssten rechtssichere Kriterien identifiziert werden, nach denen die Frequenzen vergeben werden, insbesondere dann, falls die Nachfrage das Angebot übersteigt. Darüber hinaus ist bei der freien Vergabe nicht gewährleistet, dass diejenigen Bieter zum Zuge kommen, die anschließend das Netz am effizientesten ausbauen und betreiben. Bei der Auktion spiegelt sich dies im Gebot wider.

Die Optimierung des Zuteilungsverfahrens für Mobilfunkfrequenzen ist eine Herausforderung; allerdings ist die Zeit für eine gründliche Revision der bisherigen Praxis vorhanden, denn die nächsten Frequenzblöcke werden erst im Jahr 2025 frei, sodass ihre Versteigerung voraussichtlich 2022 oder 2023 ansteht.

Es empfiehlt sich, die Mobilfunkstandards 2G (GSM) und 3G (UMTS) so schnell wie möglich abzuschalten, um Frequenzen für breitbandige LTE-Dienste sowie den Mobilfunkstandard 5G frei zu machen. Die Abschaltung der 2G- und 3G-Netze wird innerhalb der nächsten 5 Jahre unabdingbar, auch wenn sie zurzeit gerade in ländlichen Gebieten noch von großer Wichtigkeit sind und zudem in einigen älteren Kommunikationssystemen von Anlagen (z. B. Aufzüge, Schranken oder elektronische Anzeigentafeln) fest verbaut wurden.

283 Vgl. GSMA (2019a).

284 Vgl. Delhaes / Scheuer / Kerkmann (2019).

285 Vgl. GSMA (2019b).

286 Vgl. GSMA (2019a).

An der von der Bundesregierung ausgegebenen Zielsetzung, Deutschland zum „5G-Leitmarkt“ zu entwickeln, sollte mit Nachdruck festgehalten werden, da die Technologie für viele innovative Anwendungen grundlegend sein wird und ein hohes Wachstumspotenzial verspricht. Deshalb muss der Ausbau von 5G-Leuchtturmprojekten schnell in Angriff genommen werden. Zugleich steckt aber auch in der LTE-Technologie noch viel Potenzial, von der Aufrüstung zu LTE-Advanced bis hin zu Non-Standalone-5G, sowie weiterhin großer Ausbaubedarf.

Deshalb empfiehlt es sich, die Mobilfunkstrategie zweigleisig zu fahren²⁸⁷: Einerseits sollte LTE flächendeckend zur Verfügung gestellt werden, andererseits sollten 5G-Netze schnellstmöglich dort vorhanden sein, wo sie am dringlichsten für das Internet of Things benötigt werden sowie mindestens in den 20 größten Städten Deutschlands.

Zur Ausfüllung der „weißen Flecken“ sollte die Regulierung stärker als bisher Investitionskooperationen zwischen Konkurrenten sowie „Infrastruktur-Sharing“ unterstützen, bei dem sich mehrere Betreiber die aufgebauten Infrastrukturkomponenten teilen. Eine gesetzliche Verpflichtung zum „National Roaming“, wie sie derzeit diskutiert wird, erscheint demgegenüber aus ökonomischer Sicht eher kontraproduktiv. Damit würden die Kunden eines Netzbetreibers, der in einem bestimmten Gebiet keine Funkinfrastruktur vorhält, automatisch in das Netz eines Konkurrenten übergeleitet. Dies hemmt die Investitionsanreize.

Schließlich müssen auch Investitionshindernisse aufgrund der zähen Genehmigungsverfahren für neue Funkmaste so weit wie möglich ausgeräumt werden. Oftmals dauert es trotz vorhandener Investitionsbereitschaft der Netzbetreiber Jahre, bis ein Standort mit Mobilfunk erschlossen werden kann. Hierzu muss das Bauordnungs- und Bauplanungsrecht vereinfacht werden. Die Initiative des BMVI zur Mitnutzung kommunaler Trägerinfrastrukturen und öffentlicher Liegenschaften beim Ausbau von Mobilfunkstandorten erscheint als ein Schritt in die richtige Richtung.²⁸⁸

8.4.3 RECHENZENTREN UND INTERNETKNOTEN

Die Entwicklung einer klaren politischen Strategie für Datacenter-Infrastrukturen ist seit Langem überfällig. Bislang verfügen nur einzelne Bundesländer über Digitalstrategien, die auch explizit Rechenzentren einbeziehen. Aber ohne sichere Datenspeicherungs- und Verarbeitungskapazitäten kann die digitale Transformation nicht gelingen. Andere europäische Länder wie Norwegen, Schweden, Finnland oder die Niederlande betreiben aktive Politikmaßnahmen zur Sicherung und zum Ausbau der heimischen Recheninfrastruktur und übernehmen damit eine Leitbildfunktion.

287 Vgl. Expertengespräch mit Nick Kriegeskotte.

288 Vgl. BMVI (2019f).

Hierzu zählen nicht zuletzt Maßnahmen zur Erleichterung von Genehmigungsverfahren sowie zur Senkung der im internationalen Vergleich hohen Energiekosten. Insbesondere die skandinavischen Länder haben als Anreiz Strompreise, die zum Teil nur ein Viertel der deutschen Strompreise ausmachen. In diesem Zusammenhang ist eine stärkere Integration von Energie- und Digitalpolitik vonnöten. Der Betrieb von Rechenzentren hat nicht nur eine Schlüsselfunktion für die zukünftige Wirtschaftsentwicklung in einer zunehmend digitalen Welt, sondern ist vor allem auch sehr energieintensiv. Gezielte Anreize zur Entwicklung eines „Green Footprint“ für Rechenzentren könnten die hohen Energiepreise zumindest teilweise kompensieren. Denkbar ist beispielsweise eine finanzielle Förderung der Wärmerückgewinnung.

Das Internet der Dinge verändert die Grundstruktur der Informationsverarbeitung. Die Verfügbarkeit hoher Rechenkapazitäten am Netzwerkrand, dem „Edge“, gewinnt an Bedeutung, denn vor Ort generierte Daten müssen oftmals unverzüglich ausgewertet werden. Somit stellt „Edge Computing“ prinzipiell ein Gegengewicht zu den fundamentalen Zentralisierungstendenzen dar, welche die Datacenter-Branche seit Jahrzehnten prägen. Rechenzentren werden in Zukunft auch in der Peripherie entstehen, um bei der Datenverarbeitung geringe Latenzzeiten zu gewährleisten, auf die viele innovative Anwendungen angewiesen sind.

Schließlich kann die Einrichtung von Rechenzentren auch als strukturpolitische Maßnahme begriffen werden, um den ländlichen Raum aufzuwerten und „abgehängte“ Regionen zu fördern. Zwar dürften die kurzfristigen Arbeitsmarkteffekte gering sein, da der Betrieb von Rechenzentren wenig personalintensiv ist, aber langfristig könnten rund um große Datacenter neue Industrie- und Forschungscluster entstehen.



LITERATUR

Accenture (2016): People First: The Primacy of People in a Digital Age. Accenture Technology Vision 2016.

ACEA (2016): What are the benefits of truck platooning? Association des Constructeurs Européens d'Automobiles. Erschienen am 10.03.2016 online unter: <<https://www.acea.be/news/article/what-are-the-benefits-of-truck-platooning>>, abgerufen am 07.10.2019.

ACEA (2017): What is truck platooning? Association des Constructeurs Européens d'Automobiles, Brüssel.

ADAC (2018): Autonomes Fahren: Die 5 Stufen zum selbstfahrenden Auto. Erschienen am 07.11.2018 online unter: <<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autonomes-fahren/grundlagen/autonomes-fahren-5-stufen/>>, abgerufen am 21.09.2019.

ADAC (2019): Staubilanz 2018 - Neue Rekordlängen. Erschienen am 17.01.2019 online unter: <<https://www.adac.de/der-adac/verein/aktuelles/staubilanz/>>, abgerufen am 21.09.2019.

Alicke, K. / Rexhausen, D. / Seyfert, A. (2016): Supply Chain 4.0 in consumer goods. McKinsey & Company, Stuttgart/Berlin.

Allianz pro Schiene (2017): Übersicht: Erneuerungsbedarf bei Eisenbahnbrücken in Deutschland. Erschienen am 15.06.2017 online unter: <<https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/erneuerungsbedarf-eisenbahnbruecken-deutschland/>>, abgerufen am 19.09.2019.

Allianz pro Schiene (2019a): Deutschland bei Schiene auf dem drittletzten Platz. Pressemitteilung vom 17.06.2019, Erschienen online unter: <<https://www.allianz-pro-schiene.de/presse/pressemitteilungen/deutschland-bei-schiene-auf-dem-drittletzten-platz/>>, abgerufen am 19.07.2019.

Allianz pro Schiene (2019b): Schienennetz: Der Schienenverkehr wächst, das Netz schrumpft. Erschienen online unter: <<https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/schienennetz/>>, abgerufen am 19.07.2019.

Arellano, C. / DiLeonardo, A. / Felix, I. (2017): Using people analytics to drive business performance: A case study. McKinsey Quarterly 3, S. 114-119.

Arnott, R. / De Palma, A. / Lindsey, R. (1990): Economics of a Bottleneck. *Journal of Urban Economics* 27, S. 111-130.

Auer, J. (2017): Digitalisierung stärkt Gesundheitsversorgung. Deutsche Bank Research, Deutschland-Monitor vom 28.06.2017, Frankfurt am Main.

Bardt, H. / Chrischilles, E. / Fritsch, M. / Grömling, M. / Puls, T. / Röhl, K.-H. (2014): Infrastruktur zwischen Standortvorteil und Investitionsbedarf. Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft, Köln.

Bartels, P. / von Hochburg, P. / Müller, C. (2017): Ist Ihr Unternehmen „Fit for Growth“? Studie von PricewaterhouseCoopers, Düsseldorf.

BAST (2006): Auswirkungen von neuen Fahrzeugkonzepten auf die Infrastruktur des Bundesfernstraßennetzes. Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bergisch Gladbach.

BAST (2019a): Zustandsnoten der Brücken. Bundesanstalt für Straßenwesen. Online verfügbar unter: <https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Statistik/Bruecken/Zustandsnoten.pdf?__blob=publicationFile&v=8>, abgerufen am 21.09.2019.

BAST (2019b): Brückenstatistik. Bundesanstalt für Straßenwesen. Online verfügbar unter: <https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf?__blob=publicationFile&v=12>, abgerufen am 21.09.2019.

Bauer, W. / Schlund, S. / Marrenbach, D. / Ganschar, O. (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO im Auftrag des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (BITKOM), Berlin / Stuttgart.

Bauernhansl, T. (2018): Smart Services für den Mittelstand. Präsentation im Rahmen des MOOCs „Smart Service World“ von acatech und Accenture.

Baumol, W. J. (1977): On the Proper Cost Tests for Natural Monopoly in a Multiproduct Industry. *American Economic Review* 67 (5), S. 809-822.

Baumol, W. J. / Bailey, E. E. / Willig, R. D. (1977): Weak Invisible Hand Theorems on the Sustainability of Multiproduct Natural Monopoly. *American Economic Review* 67 (3), S. 350-365.

BCG (2018): Unternehmen driften bei digitaler Reife auseinander. Pressemitteilung der Boston Consulting Group vom 07.06.2018, Düsseldorf.

BDI (2015a): Verkehrsinfrastruktur – Was ist zu tun? Bundesverband der Deutschen Industrie, Erschienen am 22.09.2015 online unter: <<https://bdi.eu/themenfelder/mobilitaet-und-logistik/verkehrsinfrastruktur/#/artikel/news/verkehrsinfrastruktur-was-ist-zu-tun/>>, abgerufen am 23.09.2019.

BDI (2015b): Fließender Verkehr, auch über Ländergrenzen hinweg – Bedeutung Trans-europäische Verkehrsnetze (TEN-V). Bundesverband der Deutschen Industrie, Erschienen am 21.09.2015 online unter: <<https://bdi.eu/artikel/news/fliessender-verkehr-auch-ueber-laendergrenzen-hinweg-bedeutung-transeuropaeische-verkehrsnetze-ten-v/>>, abgerufen am 23.09.2019.

Becker, B. / Böll, S. (2019): Besser fliegen mit der Bahn? Denkste! WirtschaftsWoche Nr. 32 vom 02.08.2019.

Beining, L. (2017): Der Puls der Gesellschaft. Wie Daten und Algorithmen die Rahmenbedingungen für das Gemeinwohl verändern. Stiftung Neue Verantwortung, Bertelsmann Stiftung, Berlin.

Bendor-Samuel, P. (2017): The Power of Digital Transformation in a Data-Driven World. Erschienen am 21.07.2017 online unter: <<https://www.forbes.com/sites/peterbendorsamuel/2017/07/21/the-power-of-digital-transformation-in-a-data-driven-world/>>, abgerufen am 23.09.2019.

Bennühr, S. (2019): Daimler Trucks: Tschüss Platooning. Erschienen am 08.01.2019 online unter: <<https://www.dvz.de/rubriken/test-technik/detail/news/daimler-trucks-tschuess-platooning.html>>, abgerufen am 23.09.2019.

Berschin, F. / Maarfield, S. / Przesang, A. / Naumann, R. (2019): Güter auf die Schiene – Netzentwicklung für den Schienengüterverkehr. Studie der KCW GmbH im Auftrag des Netzwerks Europäischer Eisenbahnen und des Verbands der Güterwagenhalter in Deutschland, Berlin.

Bertelsmann Stiftung (2017a): Digitale Transformation der Verwaltung. Empfehlungen für eine gesamtstaatliche Strategie, Gütersloh.

Bertelsmann Stiftung (2017b): Digitalization at the service of society. Position Paper, Gütersloh.

Bethge, P. (2019): Blindes Vertrauen. Der Spiegel Nr. 30 vom 20.07.2019.

Beutelsbacher, S. (2017): 15 Meter genügen für das perfekte Truck-“Platoon“. Erschienen am 26.09.2017 online unter: <<https://www.welt.de/wirtschaft/article169037335/15-Meter-genuegen-fuer-das-perfekte-Truck-Platoon.html>>, abgerufen am 23.09.2019.

Bitkom (2015): Digitalisierung verändert die Unternehmensorganisation. Pressemitteilung des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (BITKOM) vom 27.04.2015, Berlin.

Bitkom (2019a): Großteil der deutschen Industrie plant mit 5G. Pressemitteilung des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (BITKOM) vom 15.05.2019, Berlin.

Bitkom (2019b): Vernetztes Fahren – Europa darf nicht falsch abbiegen. Pressemitteilung des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (BITKOM) vom 23.05.2019, Berlin.

Bloching, B. / Leutiger, P. / Oltmanns, T. / Rossbach, C. / Schlick, T. / Remane, G. / Quick, P. / Shafranyuk, O. (2015): Die digitale Transformation der Industrie. Studie von Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie e.V. (BDI), München/Berlin.

BMAS (2015): Grünbuch Arbeiten 4.0. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Berlin.

BMAS (2017): Weissbuch Arbeiten 4.0. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Berlin.

BMU (2016): Klimaschutzplan 2050. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin.

BMVI (2016a): Bundesverkehrswegeplan 2030. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.

BMVI (2016b): 5G-Initiative für Deutschland – Eine Initiative des BMVI zur Entwicklung einer Strategie zur Einführung der nächsten Mobilfunkgeneration 5G in Deutschland. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Erschienen am 27.09.2016 online unter: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/bmvi-initiative-5-schritte-zu-5g.pdf>>, abgerufen am 04.10.2019.

BMVI (2017): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.

BMVI (2018a): Verkehr in Zahlen 2018/2019. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Online verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehr-in-zahlen_2019.html>, abgerufen am 21.09.2019.

BMVI (2018b): Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Mobilität - Aktionsplan. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.

BMVI (2019a): Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) auf Bundesfernstraßen. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Online verfügbar unter: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/zustandserfassung-und-bewertung.html>>, abgerufen am 21.09.2019.

BMVI (2019b): Masterplan Binnenschifffahrt. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.

BMVI (2019c): Lkw-Maut. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Erschienen online unter: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/lkw-maut.html>>, abgerufen am 24.09.2019.

BMVI (2019d): Digitales Planen und Bauen. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Erschienen online unter: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/digitales-bauen.html>>, abgerufen am 24.09.2019.

BMVI (2019e): Bundesregierung treibt Digitalisierung des Bauwesens voran. Pressemitteilung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Erschienen am 28.06.2019 online unter: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2019/051-scheuer-bim-kompetenzzentrum.html>>, abgerufen am 24.09.2019.

BMVI (2019f): Mobilfunkstrategie – 5-Punkte-Plan zur Beschleunigung von Planung, Genehmigung und Ausbau von 4G- und 5G-Netzen sowie zur Schließung von Mobilfunklücken im 4G-Netz. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Erschienen online unter: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Mobilfunkstrategie.pdf>>, abgerufen am 04.10.2019.

BMVI / atene KOM (2019): Aktuelle Breitbandverfügbarkeit in Deutschland (Stand Ende 2018). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur und atene KOM GmbH, Online verfügbar unter: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/breitband-verfuegbarkeit-ende-2018.pdf>>, abgerufen am 04.10.2019.

BMVI / TÜV Rheinland (2018): Aktuelle Breitbandverfügbarkeit in Deutschland (Stand Mitte 2018). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur und TÜV Rheinland, Online verfügbar unter: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/breitband-verfuegbarkeit-mitte-2018.pdf>>, abgerufen am 04.10.2019.

BMWi (2016): Zukunftschance Digitalisierung – Ein Wegweiser. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin.

Braun, S. / Schatzinger, S. / Schaufler, C. / Rutka, C.-M. / Fanderl, N. (2019): Autonomes Fahren im Kontext der Stadt von Morgen. Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart.

Breitinger Matthias (2018): Privatisierung der Autobahnen. Ausverkauf auf Kosten des Autofahrers. Erschienen am 01.11.2018 online unter: <<https://www.zeit.de/mobilitaet/2018-10/privatisierung-autobahnen-verkehrsministerium-rechnungshof-rechtsverstoss/>>, abgerufen am 21.09.2019.

BREKO (2019): Marktanalyse 19 – Marktbefragung der BREKO-Netzbetreiber. Bundesverband Breitbandkommunikation, Erschienen online unter: <https://brekoverband.de/wp-content/uploads/2019/08/BREKOMarktanalyse19_final.pdf>, abgerufen am 30.09.2019.

Bundesärztekammer (2015): Telemedizinische Methoden in der Patientenversorgung – Begriffliche Verortung. Erschienen am 20.03.2015 online unter: <https://www.bundes-aerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-Ordner/Telemedizin_Telematik/Telemedizin/Telemedizinische_Methoden_in_der_Patientenversorgung_Begriffliche_Verortung.pdf>, abgerufen am 02.10.2019.

Bundesnetzagentur (2013): Jahresbericht 2012 – Energie, Kommunikation, Mobilität: Gemeinsam den Ausbau gestalten. Erschienen online unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2013/130506_Jahresbericht2012.pdf>, abgerufen am 30.10.2019.

Bundesnetzagentur (2016): Bundesnetzagentur gibt endgültige Vectoring-Entscheidung bekannt. Pressemitteilung vom 01.09.2016, Erschienen online unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2016/160109_Vectoring.html>, abgerufen am 04.10.2019.

Bundesnetzagentur (2019): Jahresbericht 2018 – 20 Jahre Verantwortung für Netze. Erschienen online unter: <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2019/JB2018.pdf?__blob=publicationFile&v=6>, abgerufen am 30.09.2019.

Bundesregierung (2018a): Aktueller Zustand der Schleusen und Wehre in der Bundesrepublik Deutschland. Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Bernd Reuther, Oliver Luksic, Daniela Kluckert, weitere Abgeordnete und der Fraktion der FDP. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/2248.

Bundesregierung (2018b): Ein neuer Aufbruch für Europa. Eine neue Dynamik für Deutschland. Ein neuer Zusammenhalt für unser Land – Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode. Erschienen am 12.03.2018 online unter: <<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/656734/847984/5b8bc23590d4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf>>, abgerufen am 04.10.2019.

Bundesregierung (2019a): Zustand der Fahrbahnen auf Bundesstraßen und Autobahnen. Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Oliver Luksic, Frank Sitta, Dr. Christian Jung, weitere Abgeordnete und der Fraktion der FDP. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/8800.

Bundesregierung (2019b): Baupreissteigerungen im Bereich Erhalt sowie Neu- und Ausbau von Schienenwegen. Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Matthias Gastel, Sven-Christian Kindler, Stefan Gelbhaar, weitere Abgeordnete und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Deutscher Bundestag, Drucksache 19/11767.

Bundesregierung (2019c): Glasfaserausbau und Fortentwicklung der staatlichen Förderung. Erschienen am 09.10.2019 online unter: <<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digital-made-in-de/glasfaserausbau-und-fortentwicklung-der-staatlichen-foerderung-1546612>>, abgerufen am 30.09.2019.

Calderón, C. / Moral-Benito, E. / Servén, L. (2015): Is infrastructure capital productive? A dynamic heterogeneous approach. *Journal of Applied Econometrics* 30 (2), S. 177-198.

Campus Mittelstand (2015): 7 Ansätze für den wirtschaftlichen Nutzen der Digitalisierung. CM Aktuell, Ausgabe 2/2015, Forbach.

Caylar, P.-L. / Naik, K. / Noterdaeme, O. (2016): Digital in industry: From buzzword to value creation. McKinsey & Company, Paris/Brüssel.

Chui, M. / George, K. / Miremadi, M. (2017): A CEO action plan for workplace automation. McKinsey Quarterly 3, S. 88-94.

Coleman Parkes (2016): Keeping Scores – Why digital transformation matters. Coleman Parkes Research, Erschienen online unter: <<https://docs.broadcom.com/docs/keeping-score-why-digital-transformation-matters-research-paper>>, abgerufen am 23.09.2019.

Commerzbank (2017): Digitalisierung. Fokusbericht der Commerzbank AG, Frankfurt am Main.

Costa, D. (2018): Digital Transformation – the costs of falling behind. Erschienen am 03.01.2018 online unter: <<https://www.skeeled.com/de/blog/digital-transformation-the-costs-of-falling-behind>>, abgerufen am 23.09.2019.

Cwiernia, L. (2019): Auf der deutschen Protestlinie. Die Zeit Nr. 21 vom 16.05.2019.

Dambeck, H. (2019): Deutsche Bummel-Bahn. Erschienen am 15.04.2019 online unter: <<https://www.spiegel.de/reise/deutschland/ice-versus-tgv-warum-deutsche-schnellzuege-deutlich-langsamere-sind-a-1259209.html>>, abgerufen am 23.09.2019.

DB (2018): Digitale Schiene Deutschland. Deutsche Bahn AG, Online verfügbar unter: <<https://www.deutschebahn.com/resource/blob/1173510/1bffbcb4aca4150f-412bc74e533526e3/Broschuere-Digitale-Schiene-data.pdf>>, abgerufen am 23.09.2019.

Delhaes, D. (2019a): Kampf um die Daten im Auto. Handelsblatt Nr. 124 vom 02.07.2019.

Delhaes, D. (2019b): EU-Rechtsakt zum vernetzten Fahren gestoppt. Handelsblatt Nr. 127 vom 05.07.2019.

Delhaes, D. (2019c): Ein verlockendes Angebot. Handelsblatt Nr. 147 vom 02.08.2019.

Delhaes, D. (2019d): Scheuer bremst, andere vernetzen. Handelsblatt Nr. 143 vom 29.07.2019.

Delhaes, D. (2019e): Funklöcher zu versteigern – Der Bundestag berät einen Antrag der FDP, „weiße Flecken“ im Mobilfunknetz zu versteigern. Die Idee findet eine breite Anhängerschaft. Handelsblatt Nr. 106 vom 04.06.2019.

Delhaes, D. / Murphy, M. (2019): Das Lenkrad bleibt im Auto. Handelsblatt Nr. 135 vom 17.07.2019.

Delhaes, D. / Scheuer, S. / Kerkmann, C. (2019): Entscheidung nach 497 Runden. Handelsblatt Nr. 113 vom 14.06.2019.

Delhaes, D. / Scheuer, S. / Tyborski, R. (2019): 5G-Projekt ohne 5G. Handelsblatt Nr. 117 vom 21.06.2019.

Demary, V. / Engels, B. / Röhl, K.-H. / Rusche, C. (2016): Digitalisierung und Mittelstand. IW-Analysen Nr. 109, Institut der deutschen Wirtschaft, Köln.

Destatis (2019a): Daten zur Verkehrsinfrastruktur, wie zum Beispiel Straßenlängen für die Jahre 2014 bis 2018. Statistisches Bundesamt, Online verfügbar unter: <<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Unternehmen-Infrastruktur-Fahrzeugbestand/Tabellen/verkehrsinfrastruktur.html>>, abgerufen am 21.09.2019.

Destatis (2019b): Preisindizes für die Bauwirtschaft – Mai 2019. Statistisches Bundesamt, Fachserie 17 Reihe 4.

Deutscher Landkreistag (2017): Flächendeckende Breitbandversorgung zu wirtschaftlichen Bedingungen sicherstellen. Erschienen online unter: <https://www.landkreistag.de/images/stories/publikationen/170620_Pospap_Breitband.pdf>, abgerufen am 04.10.2019.

DIB (2019): The 5G Ecosystem: Risks & Opportunities for DoD. Studie des Defense Innovation Board, Washington, D.C.

Difu (2013): Kommunale Straßenbrücken - Zustand und Erneuerungsbedarf. Deutsches Institut für Urbanistik, Difu-Impulse, 6/2013.

DIHK (2017): Digitale Infrastruktur für die deutsche Wirtschaft. DIHK-Vorschläge für einen Aktionsplan „Digitale Infrastruktur“, Deutscher Industrie- und Handelskammertag.

Donaldson, D. (2015): The Gains from Market Integration. Annual Review of Economics 7, S. 619–647.

dpa (2019): Digitaltechnik: Deutsche Bahn will eine Digitalgesellschaft gründen. Erschienen am 07.04.2019 online unter: <<https://www.heise.de/newsticker/meldung/Digitaltechnik-Deutsche-Bahn-will-eine-Digitalgesellschaft-gruenden-4365484.html>>, abgerufen am 23.09.2019.

Düll, N. (2016): Digitalisierung der Arbeitswelt – grundlegende Thesen. In: N. Düll (Hrsg.), „Arbeitsmarkt 2030 – Digitalisierung der Arbeitswelt“, Fachexpertisen zur Prognose 2016, Economix Research & Consulting, München, S. 6–21.

DVZ (2019a): Rheinvertiefung wird auf den Weg gebracht. Erschienen am 15.03.2019 online unter: <<https://www.dvz.de/rubriken/land/binnenschifffahrt/detail/news/rheinvertiefung-wird-auf-den-weg-gebracht.html/>>, abgerufen am 21.09.2019.

DVZ (2019b): Bund und Bahn einigen sich auf neue Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung. Erschienen am 26.07.2019 online unter: <<https://www.dvz.de/rubriken/politik/detail/news/bund-und-bahn-einigen-sich-auf-neue-leistungs-und-finanzierungsvereinbarung.html/>>, abgerufen am 21.09.2019.

EBA (2019): LuFV – Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung. Eisenbahn-Bundesamt. Erschienen online unter: <https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Finanzierung/LuFV/lufv_node.html>, abgerufen am 24.09.2019.

Eisenkopf, A. (2018): Verkehrsinfrastruktur – Politikversagen trotz des Investitionshochlaufs. ifo Schnelldienst 22/2018, S. 19–22.

Esser, M. R. (2014): Chancen und Herausforderungen durch digitale Transformation. Erschienen online unter: <<https://www.strategy-transformation.com/digitale-transformation-verstehen/>>, abgerufen am 23.09.2019.

etventure (2018): Digitale Transformation 2018 – Hemmnisse, Fortschritte, Perspektiven. Studie der etventure GmbH zusammen mit GfK Deutschland, Berlin.

EY (2016): Industrie 4.0 – das unbekannte Wesen? Studie von Ernst & Young Deutschland.

Farrell, J. / Klemperer, P. (2007): Coordination and Lock-In: Competition with Switching Costs and Network Effects. In: Armstrong, M. / Porter, R. (Hrsg.): Handbook of Industrial Organization 3, Amsterdam 2007, S. 1967–2072.

Faulhaber, G. R. (1975): Cross-Subsidization: Pricing in Public Enterprises. American Economic Review 65 (5), S. 966–977.

Fockenbrock, D. (2019a): Alles auf die Schiene. Handelsblatt Nr. 115 vom 18.07.2019.

Fockenbrock, D. (2019b): Bahn braucht 57 Milliarden. Handelsblatt Nr. 45 vom 05.03.2019.

Fokusgruppe IM (2017): Roadmap Intelligente Mobilität – Empfehlungen für einen Handlungsplan. Fokusgruppe Intelligente Mobilität, Plattform „Digitale Netze und Mobilität“.

Fraunhofer FOKUS (2016): Netzinfrastrukturen für die Gigabitgesellschaft. Studie des Fraunhofer-Instituts für offene Kommunikationssysteme FOKUS, Berlin.

Fronde, M. / Kussel, G. / Sommer, St. / Vance, C. (2019): Local Cost for Global Benefit: The Case of Wind Turbines, Ruhr Economic Papers Nr. 791, Essen.

Gassmann, O. / Böhm, J. / Palmié, M. (2018): Smart City. Innovationen für die vernetzte Stadt. Geschäftsmodelle und Management. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München.

Gawel, E. (2018): Für eine nachhaltige Finanzierung von Verkehrsinfrastruktur. ifo Schnelldienst 22/2018, S. 10-12.

Geissbauer, R. / Schrauf, S. / Koch, V. / Kuge, S. (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Studie von PricewaterhouseCoopers.

Geissbauer, R. / Vedso, J. / Schrauf, S. (2016): Industry 4.0 – Building the digital enterprise. Studie von PricewaterhouseCoopers.

Gensrich, E. (2017): Digitale Transformation im Mittelstand – Diese Chancen erwarten Sie. Erschienen am 12.10.2017 online unter: <<https://partner.mvv.de/blog/digitale-transformation-im-mittelstand-diese-chancen-erwarten-sie>>, abgerufen am 23.09.2019.

Gerbert, P. / Herhold, P. / Burchardt, J. / Schönberger, S. / Rechenmacher, F. / Kirchner, A. / Kemmler, A. / Wünsch, M. (2018): Klimapfade für Deutschland. Studie der Boston Consulting Group und Prognos im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie.

Giersberg, G. (2017): Der Vertrieb profitiert stark von Industrie 4.0. Frankfurter Allgemeine Zeitung Nr. 49 vom 27.02.2017.

Grebe, M. / Rüßmann, M. / Leyh, M. / Franke, M. R. (2018): Digital Maturity is paying off. Boston Consulting Group, Erschienen am 07.06.2018 online unter: <<https://www.bcg.com/de-de/publications/2018/digital-maturity-is-paying-off.aspx>>, abgerufen am 23.09.2019.

Grimsey, D. / Lewis, M. K. (2002): Evaluating the Risks of Public Private Partnerships for Infrastructure Projects. *International Journal of Project Management* 20, S. 107–118.

Grömling, M. / Puls, T. (2018): Logistik: Kapazitäten verknappen sich. IW-Kurzbericht 51/2018, Institut der deutschen Wirtschaft, Köln.

GSMA (2019a): Auction Best Practice – GSMA Public Policy Position. London 2019. Erschienen online unter: <<https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/05/Auction-Best-Practice.pdf>>, abgerufen am 30.10.2019.

GSMA (2019b): The Impact of Spectrum Prices on Consumers. London 2019. Erschienen online unter: <<https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/09/Impact-of-spectrum-prices-on-consumers.pdf>>, abgerufen am 30.10.2019.

Guasch, J. L. (2004): Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions – Doing it Right. The World Bank, Washington D. C. 2004.

Gurzu, A. (2018): Alle hassen die Trassen. Erschienen am 07.11.2018 online unter: <<https://www.welt.de/wirtschaft/plus183432790/Energiewende-Alle-hassen-die-Trassen.html>>, abgerufen am 23.09.2019.

Hammes, R. (2018): Die unendliche Geschichte der Lücke. Erschienen am 24.06.2018 online unter: <<https://www.ksta.de/region/euskirchen-eifel/autobahn-1-in-der-eifel-die-unendliche-geschichte-der-luecke---eine-chronik-30674510>>, abgerufen am 23.09.2019.

Hajek, S. / Kroker, M. / Menn, A. (2018): Wir sind doch nicht blöd, oder? *WirtschaftsWoche* Nr. 31 vom 27.07.2018.

Hegelich, S. / Shahrezaye, M. (2017): Die Disruption der Meinungsbildung. Konrad Adenauer Stiftung, Analysen & Argumente, Ausgabe 23, Berlin.

Heise (2018): Ökonomen sehen riesiges Sparpotenzial durch autonome Autos. Erschienen am 07.03.2018 online unter: <<https://www.heise.de/newsticker/meldung/Oekonomen-sehen-riesiges-Sparpotenzial-durch-autonome-Autos-3988487.html>>, abgerufen am 23.09.2019.

Henckel, T. / McKibbin, W. J. (2017): The Economics of Infrastructure in a Globalized World: Issues, Lessons and Future Challenges. *Journal of Infrastructure, Policy and Development* 1 (2), S. 1–18.

Henke, N. / Libarikian, A. / Wiseman, B. (2016): Straight talk about big data. McKinsey Quarterly 4, S. 42-51.

Hintemann, R. / Beucker, S. / Hinterholzer, S. (2018): Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland – weltweit führend oder längst abgehängt? Borderstep Institut, Berlin 2018.

Hintemann, R. / Clausen, J. (2018): Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland – Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb. Borderstep Institut, Berlin 2018.

Höpner, A. (2017): Produktives Chaos. Handelsblatt Nr. 216 vom 09.11.2017.

Höpner, A. / Scheuer, S. (2019): Mit 5G auf der Überholspur. Handelsblatt Nr. 141 vom 25.07.2019.

Hubik, F. (2019a): Die Neuvermessung der Welt. Handelsblatt Nr. 116 vom 19.06.2019.

Hubik, F. (2019b): Vernetzte Trucks – Daimler beerdigt die Hoffnungstechnik Platooning. Erschienen am 07.01.2019 online unter: <<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/technik-ineffizient-vernetzte-trucks-daimler-beerdigt-die-hoffnungstechnik-platooning/23836178.html?ticket=ST-12415592-bBS2ebDxFVJbEEewMh5y-ap1>>, abgerufen am 21.09.2019.

Hüther, M. (2016): Digitalisierung: Systematisierung der Trends im Strukturwandel – Gestaltungsaufgabe für die Wirtschaftspolitik. IW Policy Paper 15/2016, Institut der deutschen Wirtschaft, Köln.

Initiative D21 / fortiss (2018): eGovernment Monitor 2018. Studie der Initiative D21 und der fortiss GmbH, Berlin/München.

Initiative D21 / fortiss (2019): eGovernment Monitor 2019. Studie der Initiative D21 und der fortiss GmbH, Berlin/München.

Intraplan Consult (2019): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr, Mittelfristprognose Winter 2018/19. Studie der Intraplan Consult GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, München.

IT-Beauftragter des Bundes (2019): E-Government. Der Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik, Erschienen online unter <https://www.cio.bund.de/Web/DE/Strategische-Themen/E-Government/egovernment_node.html>, abgerufen am 06.08.2019.

IW (2018): Infrastrukturmängel in Deutschland belasten Unternehmen. Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Erschienen am 23.07.2018 online unter: <<https://www.iwd.de/artikel/infrastrukturmaengel-in-deutschland-belasten-unternehmen-397286/>>, abgerufen am 29.09.2019.

Jung, S. / Kleibrink, J. / Köster, B. / Lichter, J. / Rürup, B. (2016): Eine Wachstumsstrategie für das digitale Zeitalter. Studie des Handelsblatt Research Institute im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Düsseldorf.

Jung, S. / Kleibrink, J. / Köster, B. (2017): Die Digitalisierung des Glückspiels. Studie des Handelsblatt Research Institute im Auftrag von Westlotto und Löwen Entertainment GmbH, Düsseldorf.

KantarTNS / ZEW (2017): Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL 2017. Studie von KantarTNS und dem Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin.

KantarTNS / ZEW (2018): Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL 2018. Studie von KantarTNS und dem Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin.

Kapalschinski, C. (2019): Das Schaulaufen um 5G-Kunden beginnt. Handelsblatt Nr. 126 vom 04.07.2019.

Keese, C. (2016): Silicon Germany – Wie wir die digitale Transformation schaffen. Albrecht Knaus Verlag, München.

Kerf, M. / Gray, R. D. / Irwin, T. / Levesque, C. / Taylor, R. (1998): Concessions for Infrastructure – A Guide to Their Design and Award. The World Bank, Technical Paper 389, Washington D.C. 1998.

Kinkel, S. / Rahn, J. / Rieder, B. / Lerch, C. / Jäger, A. (2016): Digital-vernetztes Denken in der Produktion. Studie des Instituts für Lernen und Innovation in Netzwerken der Hochschule Karlsruhe und des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung, gefördert von der IMPULS-Stiftung des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Karlsruhe.

Kirchbeck, B. (2018): Autonomes Fahren – Potenziale und Auswirkungen bis 2030. Erschienen am 27.07.2018 online unter: <<https://www.next-mobility.news/autonomes-fahren-potenziale-und-auswirkungen-bis-2030-a-737285/>>, abgerufen am 29.08.2019.

Kleibrink, J. / Huchzermeier, D. / Schrinner, A. (2019): Die Zukunft der medizinischen Versorgung. Studie im Rahmen des Masterplan 2030, Handelsblatt Research Institute, Düsseldorf.

Knauth, P. (2016): Gigabitnetze als Grundlage der Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft. ifo Schnelldienst 20/2016, S. 5-8.

Koch, V. / Kuge, S. / Geissbauer, R. / Schrauf, S. (2014): Industry 4.0 – Opportunities and challenges of the industrial internet. Studie von strategy&.

Koch, M. / Neuerer, D. (2019): Berliner Nachzügler. Handelsblatt Nr. 189 vom 01.10.2019.

Krone, E. / Scheller, H. (2019): KfW-Kommunalpanel 2019. Studie des Deutschen Instituts für Urbanistik im Auftrag der KfW Bankengruppe, Frankfurt am Main.

Kuhn, T. (2019): Strahlende Zukunft im Netz. WirtschaftsWoche Nr. 23 vom 31.05.2019.

Kuhn, T. / Flocke, C. (2019): Das klingt wie kaputt. WirtschaftsWoche Nr. 29 vom 12.07.2019.

Kunert, U. / Link, H. (2013): Verkehrsinfrastruktur: Substanzerhaltung erfordert deutlich höhere Investitionen. DIW Wochenbericht 26/2013, S. 32–38.

Küpper, D. / Kuhlmann, K. / Köche, S. / Dauner, T. / Burggräf, P. (2016): The Factory of the Future. Studie der Boston Consulting Group in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen.

Lohbeck, M. (2019): Große Löcher bei 4G Infrastruktur an den Wasserstraßen. Erschienen am 07.06.2019 online unter: <https://www.meinungsbarometer.info/beitrag/Grosse-Loecher-bei-4G-Infrastruktur-an-den-Wasserstrassen_3400.html>, abgerufen am 21.09.2019.

Ludwig, H. / Köhler, M. (2018): Smart Services & innovative Geschäftsmodelle. Präsentation im Rahmen des MOOCs „Smart Service World“ von acatech und Accenture.

Lück, B. / Donner, A. (2019): 7 Tbit/s – Rekord am DE-CIX in Frankfurt. Erschienen am 26.09.2019 online unter <<https://www.datacenter-insider.de/7tbit-s-rekord-am-de-cix-in-frankfurt-a-868660/>>, abgerufen am 05.10.2019.

Malin, L. / Jansen, A. / Seyda, S. / Flake, R. (2019): Fachkräftesicherung in Deutschland – diese Potenziale gibt es noch. KOFA-Studie 2/2019, Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung des Instituts der deutschen Wirtschaft, Köln.

Manyika, J. / Chui, M. / Bisson, P. / Woetzel, J. / Dobbs, R. / Bughin, J. / Aharon, D. (2015): The Internet of Things – Mapping the Value beyond the Hype. Studie des McKinsey Global Institute, San Francisco.

Marcol, K. (2016): Die Plattform-Ökonomie – Der Fordismus des 21. Jahrhunderts? Erschienen am 28.10.2016 online unter: <<https://digitalmindspassau.wordpress.com/2016/10/28/die-plattformoekonomie-der-fordismus-des-21-jahrhunderts/>>, abgerufen am 21.09.2019.

Martin, J. / Schaede, C. / Nickels, A. (2017): Wie ein Pumpen-Hersteller durch Digitalisierung einen Prozess beschleunigt. Praxisbeispiel des Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrums Darmstadt.

Martini, C. A. / Lee, D. Q. (1996): Difficulties in Infrastructure Financing. Journal of Applied Finance and Investment 1 (1), S. 24-27.

McKinsey (2015): Industry 4.0 – How to navigate digitization of the manufacturing sector. Studie von McKinsey & Company.

McKinsey (2018): Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW – Zusammenfassung der Ergebnisse. Studie von McKinsey im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.

Menn, A. (2018): „Die Ära der Roboter beginnt gerade erst“. WirtschaftsWoche Nr. 26 vom 22.06.2018.

Michel, S. / Schäfer, R. (2017): Wartung 4.0 senkt Kosten. Erschienen am 11.07.2017 online unter: <<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/wartung-40-senkt-kosten-a-541371/>>, abgerufen am 21.09.2019.

Mohr, N. / Morawiak, D. / Köster, N. / Saß, B. (2017): Die Digitalisierung des deutschen Mittelstands. Kurzstudie von McKinsey & Company, Düsseldorf/Berlin.

Monopolkommission (2019): Mehr Qualität und Wettbewerb auf der Schiene. 7. Sektorgutachten Bahn, Bonn.

Mortsiefer, H. (2019): Die Bahn rüstet sich für den Zugverkehr der Zukunft. Erschienen am 24.04.2019 online unter: <<https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/digitalisierung-auf-der-schiene-die-bahn-ruestet-sich-fuer-den-zugverkehr-der-zukunft/24251792.html>>, abgerufen am 21.09.2019.

Morvan, L. / Hintermann, F. / Vazirani, M. (2016): Five Ways to Win with Digital Platforms. Accenture.

Niegsch, C. (2016): Industrie 4.0 – Folgen für die deutsche Volkswirtschaft. Konjunktur und Kapitalmarkt, Research-Publikation der DZ Bank AG, Frankfurt am Main.

Ninnemann, J. / Tesch, T. / Werner, A. (2019): Digitalisierung der Binnenschifffahrt – Perspektiven digitaler datengetriebener Geschäftsmodelle. Studie der HTC Hanseatic Transport Consultancy im Auftrag des Deutschen Zentrums für innovative Binnenschifffahrt, Hamburg.

NZZ (2019): Die Errichtung von 5G-Antennen stößt auf großen Widerstand. Neue Zürcher Zeitung vom 29.07.2019.

OECD (2017): The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business. Studie der Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Oliver Wyman (2015): Autonomes Fahren birgt enormes Potenzial für Automobilindustrie und neue Marktteilnehmer. Pressemitteilung vom 16.07.2015, München.

Parviainen, P. / Kääriäinen, J. / Tihinen, M. / Teppola, S. (2017): Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice. International Journal of Information Systems and Project Management, 5(1), S. 63–77.

Peitsmeier, H. / Záboji, N. (2019): Stillstand in Deutschland. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 02.07.2019.

Perlitz, U. (2010): Telemedizin verbessert Patientenversorgung. Deutsche Bank Research.

Prognos (2016): Lage und Zukunft der deutschen Industrie (Perspektive 2030). Endbericht für das Projekt Nr. 19/15 für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Prognos, München.

Puls, T. (2018): Effiziente Strukturen schaffen ist jetzt die Hauptaufgabe. ifo Schnelldienst 22/2018, S. 13–15.

Reder, B. (2014): Sprachwirrwarr bei Car-to-Car-Kommunikation. Erschienen am 23.07.2019 online unter: <<https://www.computerwoche.de/a/sprachwirrwarr-bei-car-to-car-kommunikation,3064890>>, abgerufen am 21.09.2019.

Repenning, J. / Emele, L. / Blanck, R. / Böttcher, H. / Dehoust, G. / Förster, H. / Greiner, B. / Harthan, R. / Henneberg, K. / Hermann, H. / Jörß, W. / Loreck, C. / Ludig, S. / Matthes, F. C. / Scheffler, M. / Schumacher, K. / Wiegmann, K. / Zell-Ziegler, C. / Braungardt, S. / Eichhammer, W. / Elsland, R. / Fleiter, T. / Hartwig, J. / Kockat, J. / Pfluger, B. / Schade, W. / Schlomann, B. / Sensfuß, F. / Ziesing, H.-J. (2015): Klimaschutzszenario 2050 – 2. Endbericht. Studie des Öko-Instituts und Fraunhofer ISI im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin/Karlsruhe.

Roland Berger (2016): The Industrie 4.0 transition quantified. Studie von Roland Berger Strategy Consultants, München.

Rüßmann, M. / Lorenz, M. / Gerbert, P. / Waldner, M. / Justus, J. / Engel, P. / Harnisch, M. (2015): Industry 4.0 – The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Studie der Boston Consulting Group, München.

Russo, C. (2016): Industrie 4.0: Digitale Transformation der westeuropäischen Industrie ermöglicht zusätzlichen Wertbeitrag von 420 Milliarden Euro. Roland Berger Strategy Consultants, Pressemitteilung vom 25.04.2016, Erschienen online unter: <<https://www.rolandberger.com/de/Media/Industrie-4.0-Digitale-Transformation-der-westeurop%C3%A4ischen-Industrie-erm%C3%B6glicht-2.html>>, abgerufen am 02.10.2019.

RWE (2012): Akzeptanz für Großprojekte – Eine Standortbestimmung über Chancen und Grenzen der Bürgerbeteiligung in Deutschland. RWE AG, Essen.

RWI / Stiftung Mercator (2019): Weniger Staus, Staub und Gestank per sozial ausgewogener Städte-Maut: Gemeinsames Plädoyer initiiert von RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung und der Stiftung Mercator. RWI Positionspapier 74, Erschienen am 18.05.2019 online unter: <http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-positionen/rwi-position_74_plaedoyer_fuer_eine_staedtemaut.pdf>, abgerufen am 04.10.2019.

Schlautmann, C. (2019): Greta und die Güterbahn. Handelsblatt Nr. 119 vom 25.07.2019.

Schlesinger, C. (2019): Operation RUT-K. WirtschaftsWoche Nr. 27 vom 28.06.2019.

Schlott, S. (2019): Skepsis bei Warendrohnen und Flugtaxi. Erschienen am 31.07.2019 online unter: <<https://www.springerprofessional.de/mobilitaetskonzepte/multimoda-le-mobilitaet/skepsis-bei-warendrohnen-und-flugtaxi/16959874>>, abgerufen am 23.09.2019.

Schönauer, A.-L. (2013): Industriefeindlichkeit in Deutschland: Zur Akzeptanz von Großprojekten. WISO direkt, Analysen und Konzepte zur Wirtschafts- und Sozialpolitik, Bonn.

Schubert, M. / Kluth, T. / Nebauer, G. / Ratzenberger, R. / Kotzagiorgis, S. / Butz, B. / Schneider, W. / Leible, M. (2014): Verflechtungsprognose 2030. Studie von der BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt, Intraplan Consult, Ingenieurgruppe IVV und Planco Consulting im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, München.

Schulz, G. (2018): Für eine zukunftsfähige und solide finanzierte Verkehrsinfrastruktur: Welche Reformen sind erforderlich? ifo Schnelldienst 22/2018, S. 3-6.

Secer, S. / von Bandemer, S. (2019): Potenziale und Perspektiven der Telemedizin. Forschung Aktuell 03/2019, Institut Arbeit und Technik der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen – Bocholt – Recklinghausen, Gelsenkirchen.

Sharkey, W. (1981): Existence of Sustainable Prices for Natural Monopoly Outputs. Bell Journal of Economics 12 (1), S. 144-154.

Sieg, G. / Wigger, B. (2018): Auch in Zukunft Verkehrsinfrastruktur in ÖPP bereitstellen. ifo Schnelldienst 22/2018, S. 16-18.

Sprengel, B. (2018): Autonomes Fahren birgt Sparpotenzial von bis zu 4 Billionen Euro. Erschienen am 07.03.2018 online unter: <<https://www.lead-digital.de/oekonomen-sehen-riesiges-sparpotenzial-durch-autonome-autos/>>, abgerufen am 23.09.2019.

Stangarone, J. (2016): 5 Huge Benefits of Digital Transformation. Erschienen am 11.10.2016 online unter: <<https://www.mrc-productivity.com/blog/2016/10/5-huge-benefits-of-digital-transformation/>>, abgerufen am 23.09.2019.

Stiebel, B. (2019): Passend bauen. Erschienen am 09.07.2019 online unter: <<https://www.behörden-spiegel.de/2019/07/09/passend-bauen/>>, abgerufen am 23.09.2019.

Süsser, U. (2019): Machen wir den Deckel zu. Kölner Stadt-Anzeiger vom 27.06.2019.

Thomas, P. (2019): Mit Flüsterbremse und Schallschutzwand. Erschienen am 23.04.2019 online unter: <<https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/technik/gegen-lärm-von-güterzügen-mit-flüsterbremse-und-schallschutzwand-16148079.html>>, abgerufen am 23.09.2019.

Trapp, J. H. / Arndt, W.-H. / Libbe, J. / Schneider, S. / Verbücheln, M. / Winkelhaus, J. / Mottschall, M. / Bauknecht, D. / Bergmann, T. / Gröger, J. / Hausigke, S. (2017): Ressourcenleichte zukunftsfähige Infrastrukturen – umweltschonend, robust, demografiefest. Studie des Deutschen Instituts für Urbanistik und des Öko-Instituts im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau.

Treadgold, A. (1996): Private Financing of Infrastructure and Other Long-Term Capital Projects. *Journal of Applied Finance and Investment* 1 (1), S. 7–12.

Tüllmann, C. / Prasse, C. / Sagner, D. / Piatowski, H. (2016): Prozesse durch Digitalisierung nachhaltig optimieren. Whitepaper des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund.

Tyborski, R. (2019a): Das Roboterauto auf dem Seziertisch. *Handelsblatt* Nr. 165 vom 28.08.2019.

Tyborski, R. (2019b): Der Mensch bleibt am Steuer. *Handelsblatt* Nr. 165 vom 28.08.2019.

VATM (2019): Von Megabit zu Gigabit: Wie Voucher beim Umstieg auf FTTB/H helfen. Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten, Erschienen online unter: <https://www.vatm.de/wp-content/uploads/2019/01/Voucher_Der-Umstieg_auf_FTTB_und-FTTH_012019.pdf>, abgerufen am 24.09.2019.

vbw (2016): Automatisiertes Fahren – Infrastruktur. Positionspapier der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, München.

VDV (2019): Auf der Agenda: Reaktivierung von Eisenbahnstrecken, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, Köln.

Vickrey, W. S. (1963): Pricing in Urban and Suburban Transport. *American Economic Review* 53, S. 452–465.

Vickrey, W. S. (1969): Congestion Theory and Transport Investment. *American Economic Review* 59, S. 251–261.

von Braunmüller, P. / Klein, M. (2019): Bürgerbedürfnisse in den Mittelpunkt stellen. Erschienen am 30.04.2019 online unter: <<https://www.egovernment-computing.de/buergerbeduerfnisse-in-den-mittelpunkt-stellen-a-824995/>>, abgerufen am 23.09.2019.

von Lucke, J. (2018): In welcher smarten Welt wollen wir eigentlich leben? *Verwaltung und Management* 24 (4), S. 177–196.

Waldhauser, B. (2019): Das Internet ist die Grundlage für einen prosperierenden Wirtschaftsstandort. In: Kaczmarek, A. / Stanossek, G. (Hrsg.): Dschungelführer 2019 – Der Führer durch den deutschen Telekommunikationsmarkt. Teningen 2019, S. 54–56.

Waser, N. (2015): Wer kauft in Zukunft noch Maschinen? Frankfurter Allgemeine Zeitung Nr. 272 vom 23.11.2015.

Weber, M.-A. / Jeske, T. / Lennings, F. (2017): Ansätze zur Gestaltung von Produktivitätsstrategien in vernetzten Arbeitssystemen. Beitrag zum 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Institut für angewandte Arbeitswissenschaft, Düsseldorf.

Wernick, C. (2016): Ökonomie und Kostenstrukturen des Glasfaserausbaus. WIK-Bericht, Bad Honnef 2016.

Wernick, C. / Queder, F. / Strube Martins, S. / Gries, C. (2017): Ansätze zur Glasfaser-Erschließung unterversorgter Gebiete. WIK-Studie für den DIHK, Bad Honnef 2017.

Wiek, E. (2016): Asiens Superzüge hängen den ICE ab. Erschienen am 06.05.2016 online unter: <https://www.t-online.de/finanzen/boerse/news/id_77762386/shinkansen-co-warum-asiens-superzuege-den-ice-abhaengen.html>, abgerufen am 23.09.2019.

Wieselhuber (2018): BIM – are you ready? Studie der Dr. Wieselhuber & Partner GmbH, München.

Williamson, O. E. (1990): Die ökonomischen Institutionen des Kapitalismus: Unternehmen, Märkte, Kooperationen. Mohr Siebeck, Tübingen.

Wissenschaftlicher Beirat beim BMWi (2019): Eine marktorientierte Verkehrswende. Offener Brief an den Bundesminister für Wirtschaft und Energie, Erschienen am 30.04.2019 online unter: <<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Wissenschaftlicher-Beirat/brief-marktorientierte-verkehrswende.pdf>>, abgerufen am 04.10.2019.

Witsch, K. (2019): Das Problem mit der Windkraft. Erschienen am 19.05.2019 online unter: <<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/erneuerbare-energie-das-problem-mit-der-windkraft/24355964.html?ticket=ST-29506637-VedeKEMgfWe-yKI0qSCLO-ap1>>, abgerufen am 23.09.2019.

Wolf, N. (2014): Kurze Geschichte der Weltwirtschaft. Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ) 64 (1–3), S. 9–15.

WSV (2019): Verzeichnis der dem allgemeinen Verkehr dienenden Binnenwasserstraßen des Bundes. Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Online verfügbar unter: <<https://www.elwis.de/DE/Schifffahrtsrecht/Allgemeine-Informationen/WaStrG/Anlagen/Anlage-1/Anlage-1-node.html>>, abgerufen am 21.09.2019.

Zimmermann, V. (2017): Digitalisierung der Wirtschaft: breite Basis, vielfältige Hemmnisse – Unternehmensbefragung. KfW Bankengruppe, Frankfurt am Main.

Zukunftsinstitut (2017): Die Evolution der Mobilität. Studies des Zukunftsinstituts im Auftrag des ADAC, Frankfurt am Main.

RECHTLICHER HINWEIS

Die vorstehenden Angaben und Aussagen stellen keine Anlage-, Rechts- oder Steuerberatung dar. Die verwendeten Daten stammen aus unterschiedlichen Quellen und wurden als korrekt und verlässlich betrachtet, jedoch nicht unabhängig überprüft; ihre Vollständigkeit und Richtigkeit sind nicht garantiert, und es wird keine Haftung für direkte oder indirekte Schäden aus deren Verwendung übernommen, soweit nicht durch grobe Fahrlässigkeit oder vorsätzliches Fehlverhalten unsererseits verursacht.

Alle Meinungen können ohne vorherige Ankündigung und ohne Angabe von Gründen geändert werden. Die vorstehenden Aussagen werden lediglich zu Informationszwecken des Auftraggebers gemacht und ohne darüber hinausgehende vertragliche oder sonstige Verpflichtung zur Verfügung gestellt.

Soweit in vorstehenden Angaben Prognosen oder Erwartungen geäußert oder sonstige zukunftsbezogene Aussagen gemacht werden, können diese Angaben mit bekannten und unbekannten Risiken und Ungewissheiten verbunden sein. Es kann daher zu erheblichen Abweichungen der tatsächlichen Ergebnisse oder Entwicklungen zu den geäußerten Erwartungen kommen. Neben weiteren hier nicht aufgeführten Gründen können sich insbesondere Abweichungen aus der Veränderung der allgemeinen wirtschaftlichen Lage, der Entwicklung der Finanzmärkte und Wechselkurse sowie durch Gesetzesänderungen ergeben.

Das Handelsblatt Research Institute verpflichtet sich nicht, Angaben, Aussagen und Meinungsäußerungen zu aktualisieren.

Es gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen des Handelsblatt Research Institute.

IMPRESSUM

Infrastruktur der Zukunft
Eine Studie im Rahmen des
MASTERPLAN 2030

Sabine Haupt, Dr. Sven Jung, Dr. Jörg
Lichter, Dr. Frank Christian May
Unter wissenschaftlicher Leitung von
Prof. Dr. Dr. h. c. Bert Rürup

Studienpate:
Huawei Technologies Deutschland GmbH

Herausgeber:
Handelsblatt Research Institute
Toulouser Allee 27
D-40211 Düsseldorf
+49 (0)211/887-1100
www.handelsblatt-research.com

Ansprechpartner:
Dr. Sven Jung
+49 (0)211/887-1243
s.jung@handelsblattgroup.com

Verlag:
Handelsblatt Fachmedien GmbH
Toulouser Allee 27
D-40211 Düsseldorf
Tel.: 0800/000-1637, Fax: 0800/0002959
<http://www.fachmedien.de>
hbfm-kundenservice@de.rhenus.com

ISBN:
Print: 978-3-947711-24-6
eBook: 978-3-947711-25-3
Bundle: 978-3-947711-26-0

Bilder:
iStockphoto.com

Layout und Satz:
Handelsblatt Research Institute
Isabel Rösler & Christina Wiesen

Druck:
Grafisches Centrum Cuno GmbH & Co. KG,
Gewerbering West 27, 39240 Calbe (Saale)

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile
ist urheberrechtlich geschützt. Jede
Verwendung außerhalb der engen Grenzen
des Urheberrechtsgesetzes ist ohne
Zustimmung des Verlags unzulässig und
strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2019 Handelsblatt Fachmedien GmbH
<http://www.fachmedien.de>
info@fachmedien.de

Printed in Germany
November 2019

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

INFRASTRUKTUR DER ZUKUNFT

Eine Studie im Rahmen des MASTERPLAN 2030

Die Infrastruktur eines Landes ist eine wichtige Grundlage für die gesellschaftliche Prosperität und die wirtschaftlichen Wachstumsmöglichkeiten. In Deutschland ist allerdings die Verkehrsinfrastruktur (Straßen, Schienen und Binnenwasserstraßen) bereits heute in vielen Regionen überlastet. Darüber hinaus ist die Substanz des Verkehrsnetzes, insbesondere der Brücken, in Teilen veraltet. Angesichts eines in der kommenden Dekade weiter zunehmenden Verkehrsaufkommens, vor allem im Bereich des Gütertransports, steht Deutschland vor großen Herausforderungen.

Bedenklich ist ebenfalls der Zustand der digitalen Infrastruktur. Beim Breitbandausbau attestieren alle wichtigen Vergleichsstudien dem Standort Deutschland einen erschreckenden Rückstand zu den technologischen Vorreitern, und dies gilt sowohl für die Festnetze als auch für die Mobilfunknetze.

In Zukunft wachsen zudem beide Bereiche – Verkehrsinfrastruktur und digitale Infrastruktur – immer weiter zusammen. So ist die Digitalisierung des Verkehrsnetzes ein essenzieller Schritt, um dessen Kapazität zu erhöhen. Ausgehend davon muss die Politik dafür sorgen, dass der Standortfaktor Infrastruktur für die künftigen Anforderungen gerüstet ist.

Die vorliegende Studie gibt einen umfassenden Überblick über Chancen und Herausforderungen im Bereich der Verkehrsinfrastruktur sowie der digitalen Infrastruktur in Deutschland und entwickelt auf dieser Grundlage ein Lastenheft für notwendige Reformen, um diese wichtigen Komponenten des volkswirtschaftlichen Kapitalstocks zukunftsfest zu machen.

Autoren: Sabine Haupt, Dr. Sven Jung,
Dr. Jörg Lichter, Dr. Frank Christian May
Unter wissenschaftlicher Leitung von
Prof. Dr. Dr. h. c. Bert Rürup

www.handelsblatt-research.com

Handelsblatt
RESEARCH INSTITUTE

Verlag:

Handelsblatt
FACHMEDIEN

www.fachmedien.de

ISBN 978-3-947711-25-3



19,99 €