

Reutter, Ulrike; Wittowsky, Dirk:

Technologische Neuerungen und mögliche Folgen für Raum und Verkehr

URN: urn:nbn:de:0156-0990082



CC-Lizenz: BY-ND 3.0 Deutschland

S. 196 bis 218

In:

Reutter, Ulrike; Holz-Rau, Christian; Albrecht, Janna; Hülz, Martina (Hrsg.)
(2020):

Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext
gesellschaftlichen Wandels.

Hannover = Forschungsberichte der ARL 14

Ulrike Reutter, Dirk Wittowsky

TECHNOLOGISCHE NEUERUNGEN UND MÖGLICHE FOLGEN FÜR RAUM UND VERKEHR

Gliederung

- 1 Einleitung
- 2 Verbreitung neuer Medien der Informations- und Kommunikationstechnologien
- 3 Auswirkungen von Digitalisierung und technologischen Neuerungen auf Aktivitäten und Mobilitätsverhalten
 - 3.1 Theoretische Vorüberlegungen
 - 3.2 Mögliche Auswirkungen auf die Aktivitätsmuster
 - 3.3 Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten
- 4 Digitalisierungstrends und Fahrzeuge
 - 4.1 Verkehrstelematik und Vernetzung
 - 4.2 Navigation und Assistenzsysteme
 - 4.3 Gebaute Umwelt und Smart City
- 5 Schlussbetrachtung

Literatur

Kurzfassung

Der technologische Wandel und der digitale Fortschritt sind heute in vielen Lebensbereichen wie der Arbeitswelt, der Bildung oder der Freizeit wahrnehmbar. Dies hat Folgen für die dafür notwendige Mobilität und für den damit verbundenen Verkehr. Auch die Mobilität selbst verändert sich durch digitale Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) mit ihren umfassenden, in Echtzeit abrufbaren Informationen, Buchungsmöglichkeiten und Zugängen zu neuen Applikationen für die Wahl des Verkehrsmittels. Darüber hinaus wirkt die Digitalisierung als Treiber auf die Verkehrssteuerung, auf die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und dieser mit der Infrastruktur sowie auf die Vernetzung von unterschiedlichen Mobilitätsangeboten.

Ziel des Beitrags ist es, die Auswirkungen von Digitalisierungstrends auf Mobilität und Verkehr aufzuzeigen. Hierbei stehen die Entwicklung von IKT und ihr Einfluss auf verändertes Mobilitätsverhalten sowie die Entwicklungen in Städten und in der Verkehrstelematik im Mittelpunkt. Abschließend wird diskutiert, inwieweit diese absehbaren Veränderungen kurz- oder langfristig auch räumliche Strukturen beeinflussen könnten.

Schlüsselwörter

Verkehrstelematik – Smart City – Raumnutzung – Digitalisierung – Informations- und Kommunikationstechnologien – technologischer Wandel – Mobilitätsverhalten

Technological innovations and possible consequences for land use and transport

Abstract

Technological change and digital progress are today apparent in many areas of life, such as the world of work, education or leisure. This has implications on the necessary mobility and the related transport. Mobility itself is also changing through digital information and communication technologies (ICT) with their comprehensive, real-time information, booking options and access to new applications for the choice of transport modes. In addition, digitalisation has an impact on transport management as a driver, vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication, and the networking of different mobility services.

The aim of the paper is to point out the impact of digitalisation trends on mobility and transport. The focus is on the development of the ICT sector and its influence of altered transport behaviour as well as developments in cities and in transport telematics. Finally, the extent to which these foreseeable changes could influence spatial structures in the short or long term is discussed.

Keywords

Information and communication technologies – ICT – transport telematics – smart city – land use management – digitalisation – technological change – mobility behaviour

1 Einleitung

Das Zusammenspiel von Raum- und Infrastrukturgestaltung mit neuen Technologien sowie der Interaktion mit den Mobilitätsakteuren in einem komplexen sozio-technischen System werden zurzeit kontrovers debattiert. Der technologische Wandel – derzeit vor allem der Fortschritt in der Digitalisierung – ist in vielen Lebensbereichen wahrnehmbar und wirkt in unterschiedlicher Weise auf die Verkehrssysteme und das Mobilitätsverhalten. Bei der Entwicklung zukünftiger Stadt- und Mobilitätskonzepte werden Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), die Vernetzung verschiedener Systeme, die Gewinnung von Daten und Informationen (z. B. Big Data oder Crowdsourcing), die Automatisierung von Fahrzeugen sowie virtuelle Mobilitäten und Realitäten eine wichtige Rolle einnehmen. Durch die informationstechnische Generierung großer Datenmengen, die verarbeitet, vernetzt und verknüpft sowie für Betreiber und Nutzer auf unterschiedlichen Informationskanälen präsentiert werden können, eröffnen sich neue Optionen im Entscheidungsprozess und letztendlich in der Nutzung öffentlicher und privater Verkehrsmittel, sodass innovative Produkte und neue Dienstleistungen entstehen. Damit verbunden ist die Erwartung, dass vorhandene Infrastrukturen effizienter und somit vorhandene Kapazitäten genutzt werden können. Bei gleichzeitiger modaler Verlagerung bzw. Substitution von Verkehren könnte diese Effizienzsteigerung sogar in Rückbau oder Umwidmung von bestehenden Infrastrukturen münden, wofür allerdings eindeutige politische Zielvorgaben sowie

ein entsprechender Umsetzungswille nötig wären. Ansonsten wäre es eher wahrscheinlich, dass die Effizienzsteigerung zu mehr Verkehr und damit zu höherem Energieverbrauch sowie höheren Umwelt- und Unfallbelastungen führen wird.

Die Entwicklung von innovativen Technologien beeinflusst die Art des Unterwegsseins selbst, wirkt darüber hinaus auch in weite Lebensbereiche hinein und hat somit unmittelbar und mittelbar Einfluss auf die räumliche und zeitliche Verteilung der Aktivitätsmuster, Wege und Transportvorgänge sowie auf die Intensität von Daten- und Verkehrsströmen. Die Auflösung ehemals ausschließlich physischer Erreichbarkeiten hin zu virtuellen Erreichbarkeiten verändert z. B. die Arbeitswelt durch die Auflösung zeitlicher und räumlicher Bindungen, das Konsumverhalten durch Online-Shopping rund um die Uhr, die Freizeitgestaltung durch fast überall verfügbaren Medienkonsum und virtuelle Realitäten, das Wohnen durch Smart-Home-Technologien und Vermittlungsplattformen, die medizinische Versorgung durch digitale Diagnose- und Therapieangebote, die Bildung durch die Etablierung von E-Learning sowie die Verwaltung durch E-Government in Behörden und vermehrte Online-Angebote.

Auch wenn Ausmaß und Umfang, in denen diese Angebote in Zukunft in der Bevölkerung akzeptiert und sich folglich durchsetzen werden, kaum abzuschätzen sind, ist zu erwarten, dass sie das Mobilitätsverhalten deutlich beeinflussen werden. Neue Mobilitätsformen, veränderte Arbeitswelten und Standortwahlentscheidungen, aber auch die Versorgung durch Lieferdienste werden in der Folge auch die räumlichen Strukturen verändern.

Darüber hinaus sind Smart Cities, automatisierte und vernetzte Fahrzeuge, Drohnen und Roboter, die Pakete ausliefern, Augmented Reality in den Fahrzeugen sowie die automatisierte Informationsgewinnung von Verhaltensmustern und Bewegungsprofilen für Verkehrsprognosen und zur Steuerung von Verkehrsströmen keine technischen Utopien mehr, sondern in vielen Modellprojekten bereits Realität.

Ziel dieses Beitrags ist es, die möglichen Auswirkungen von Digitalisierungstrends auf Mobilität und Verkehr aufzuzeigen. Dabei stehen die Entwicklung von IKT und ihr Einfluss als Treiber für verändertes Mobilitätsverhalten sowie die Entwicklungen der Verkehrstelematik im Mittelpunkt. Insbesondere die Effekte sich verändernder Aktivitäten und mögliche Auswirkungen auf die Verkehrsmittelnutzung und Änderungen des Verkehrssystems werden diskutiert. Abschließend wird erörtert, inwieweit diese möglichen, zum Teil absehbaren Entwicklungen räumliche Strukturen beeinflussen. Es stellt sich also einerseits die Frage, wie die technologischen Entwicklungen auf Mobilität und Raumentwicklung wirken, und andererseits, wie die Raum- und Verkehrsplanung ihrerseits darauf reagieren und die Optionen nutzen kann bzw. Anpassungsstrategien entwickeln muss.

2 Verbreitung neuer Medien der Informations- und Kommunikationstechnologien

Einhergehend mit der zunehmenden Digitalisierung, verstanden als „Prozess der durch die Einführung digitaler Technologien bzw. der darauf aufbauenden Anwendungssysteme hervorgerufenen Veränderungen“ (Hess 2016), verbreitet sich die private Nutzung von IKT immer stärker. So sind 2017 bereits in mehr als 95% der Haushalte Mobiltelefone (Handy, Smartphone) vorhanden (vgl. Statistisches Bundesamt 2019), sodass fast von einer flächendeckenden Mobiltelefon-Durchdringung gesprochen werden kann. Seit der Einführung des I-Phones im Jahr 2007 durch Apple gewonnenen Smartphones zunehmende Marktanteile an den Mobiltelefonen: Laut Branchenbefragung von Bitkom Research nutzten im April 2018 in Deutschland 80% der über 14-Jährigen „zumindest hin und wieder“ ein Smartphone, von den über 65-Jährigen waren es 40%. Kontinuierliche Steigerungsraten in den letzten Jahren lassen erwarten, dass Nutzung und Verbreitung noch weiter wachsen werden (vgl. Ametsreiter 2017; 2019). Besonders der Anteil der Endgeräte mit mobiler Internetnutzung und die Nutzung von Apps weist eine dynamische Entwicklung auf.

Dennoch gibt es noch immer relevante Bevölkerungsgruppen, die diese Geräte und Dienste nicht nutzen. Der D21-Digital-Index erhebt seit dem Jahr 2013 jährlich bevölkerungsrepräsentativ die Dimensionen Zugang, Nutzung, Kompetenz und Offenheit in Bezug auf digitale Medien in der Bevölkerung über 14 Jahren. Danach sind rund drei Viertel mit mobilen Endgeräten ausgestattet und nutzen diese vor allem zur Informationssuche, aber auch zum Online-Shopping und für digitale Navigationsdienste. Die Nutzung App-basierter Angebote, die Einfluss auf das Raum-Zeit-Muster haben, ist in den letzten Jahren massiv angestiegen. Multimodale Auskunftsplattformen in Echtzeit, digitale Sharing-Plattformen, das Auffinden freier Parkplätze, das Kaufen von ÖV-Tickets, das raum- und zeitunabhängige Chatten oder die Buchung von Reisen sind nur einige Beispiele. Jedoch spielen dagegen für rund ein Viertel der Bevölkerung das Internet und die digitale Technik weiterhin keine oder kaum eine Rolle im Alltag. In dieser Gruppe sind vor allem eher Frauen, ältere Menschen und Menschen mit niedrigerem Bildungsgrad vertreten (vgl. Initiative D21 2018). Dies motiviert Debatten über die soziale Abspaltung (*digital divide*) und Exklusion bestimmter Personengruppen z.B. von neuen Mobilitätsformen, die ohne Smartphone oder Online-Zugang nicht möglich sind (vgl. Ball/Francis/Huang et al. 2017).

Im Vergleich mit anderen Industrienationen weltweit liegt Deutschland bei der Digitalisierung nur im Mittelfeld. Insbesondere beim Breitbandausbau, der Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung, in Teilen des Bereichs Forschung und Technik sowie bei digitalen Geschäftsmodellen besteht Nachholbedarf (vgl. acatech 2017). Trotzdem werden sich künftig für immer mehr Menschen digitaler und physischer Alltag gegenseitig durchdringen – und damit reale und virtuelle Räume zunehmend verschmelzen und veränderte Abhängigkeiten und Neukonfigurationen zwischen Räumen entstehen. Vor allem die Technologien des „Internet der Dinge“ ermöglichen die Interaktion zwischen Menschen und Systemen bzw. Systemen mit Systemen und deren Applikationen, mit dem Ziel, Menschen bei ihren Entscheidungen zu unterstützen, Angebote zu vernetzen und Nachfrageströme effizienter in den Netzen zu verteilen (vgl. dazu auch Dangschat 2020 in diesem Band).

3 Auswirkungen von Digitalisierung und technologischen Neuerungen auf Aktivitäten und Mobilitätsverhalten

3.1 Theoretische Vorüberlegungen

Zur Beantwortung der Frage, wie sich diese wachsende Bedeutung von Digitalisierung und von massenhaft verbreiteten mobilen Endgeräten und Apps – z. B. für aktuelle Fahrplaninformationen, Ticketbuchungen oder Fahrtvermittlungen – auf den Verkehr auswirken, gibt es bereits seit mehreren Jahrzehnten Forschungen über Annahmen, Erwartungen und tatsächlich eingetretenen Veränderungen im Verhalten (z. B. zusammengefasst von Lenz 2011; 2015 oder Mokhtarian 2020 in diesem Band).

Es stellt sich dabei einerseits die Frage, ob sich infolge der Digitalisierung das Mobilitätsverhalten dadurch verändern wird, dass die Ausübung bestimmter Aktivitäten nicht mehr an feste Orte und Zeiten gebunden ist oder vermehrt durch digitale Kommunikationsvorgänge ersetzt werden kann – theoretisch beschrieben als „Fragmentierungskonzept“ mit räumlicher, zeitlicher und modaler Fragmentierung (vgl. Couclesis 2000). Es ist zu fragen, welche Auswirkungen sich dadurch auf die Wege ergeben: Theoretisch können Wege wegfallen (Substitution), neue Wege durch veränderte Aktivitäten entstehen (Induktion) und sich räumliche und zeitliche Wegemuster verändern (Modifizierung). Auch ist denkbar, dass keine Wirkungen festzustellen sind (Neutralität), sich also die Effekte kompensieren. Dabei sind auch in der Gegenrichtung Wirkungen zu erwarten, etwa dass wachsende Mobilität auch mehr Kommunikation zur Folge haben kann und dass insgesamt sowohl Kommunikation als auch Mobilität zunehmen (vgl. Mokhtarian/Salomon/Handy 2006; Mokhtarian/Tal 2013; Mokhtarian 2020 in diesem Band). Tully und Alfaraz sehen z. B. eine Erweiterung der Verkehrsnachfrage durch die ansteigende Informationsvielfalt über Aktivitäten und Standorte – insbesondere bei jungen Menschen. Aktivitäten gewinnen unabhängig vom Ort an Bedeutung und Parallelwelten werden aufgespannt, in denen ein ständiger Wechsel zwischen Orten, Menschen und Situationen erfolgt und damit (virtuelle) Aktionsräume aufgespannt werden (vgl. Tully/Alfaraz 2017). Diese Virtualisierung führt zwar auch zur Einsparung einzelner Wege, sie eröffnet aber zugleich neue Aktivitätsoptionen (vgl. Dennis/Urry 2009; Lyons 2015). Konrad und Wittowsky (2016) kommen in einer Literaturobwohl zu ähnlichen Ergebnissen und stellen abgeleitet aus der Empirie eher einen verkehrsinduzierenden Effekt der virtuellen Mobilität fest (Konrad/Wittowsky 2016: 56).

Andererseits sind die Auswirkungen auf die Art und Weise, wie die Wege zurückgelegt werden, zu untersuchen: Verändert die Beteiligung an sozialen Netzwerken oder die Anwendung verkehrsbezogener Informations- und Kommunikationsmittel – insbesondere Verkehrsinformations- und Navigationsdienste oder auch Buchungs-Apps für Mobilitätsdienstleistungen – das Mobilitätsverhalten? Führen sie vielleicht sogar zu einem weniger umweltbelastenden Verhalten als bislang, da z. B. der intermodale Umstieg vom Pedelec in den Zug verlässlicher geplant werden kann?

Empirisch sind diese theoretisch möglichen Veränderungen im Mobilitätsverhalten nur schwer aufzuzeigen, weil es kaum möglich ist, Einzeleffekte im Mobilitätsverhalten

auf Ursachen, die ganz allgemein in der fortschreitenden Digitalisierung liegen, zurückzuführen. Aus diesem Grund gehen wir im Folgenden auf die oben aufgeworfenen Fragen derart ein, dass wir einerseits plausible Gedankengänge formulieren, zum Teil aus Szenarienstudien abgeleitet, und diese andererseits mit ersten empirischen Studien und Hinweisen vergleichen.

3.2 Mögliche Auswirkungen auf die Aktivitätsmuster

Die oben beschriebene These, dass die Digitalisierung dazu beitragen kann, heutige Mobilitätsbedarfe zu reduzieren, da für bestimmte Aktivitäten eine physische Anwesenheit vor Ort nicht mehr in jedem Fall erforderlich ist, wird in verschiedenen Zukunftsszenarien diskutiert (vgl. z. B. Heß/Polst 2017; Münchner Kreis 2017; zur Nedden/Hollbach-Gröming/Becker et al. 2017; Altenburg/Kienzler/Esser et al. 2018). Dabei lassen sich verschiedene Alltagsbereiche identifizieren, in denen sich durch die Digitalisierung die Aktivitäten an sich und die dafür notwendige Mobilität verändern können.

Arbeiten

Die Digitalisierung der Arbeitswelt lässt erwarten, dass sich Strukturen dieser Verkehre und möglicherweise auch das Ausmaß durch Telearbeiten, Online-Konferenzen oder digitale Produktionsstätten deutlich verändern werden (vgl. Shareground/Deutsche Telekom/Universität St. Gallen 2015). Danach werden z. B. feste Arbeitsplatzzugehörigkeiten und traditionelle Arbeitszusammenhänge und -abläufe fluider. Hoch spezialisierte Fachkräfte werden weltweit kommunizieren und befristet eingesetzt werden. Die Notwendigkeit, räumlich an einem bestimmten Arbeitsort anwesend zu sein, wird abnehmen; traditionelle Arbeitsorte und -zeiten werden sich auflösen, stattdessen werden sich weitere individuelle Gestaltungsfreiheiten zur Vereinbarung von Familie und Beruf ergeben, ebenso aber auch neue Belastungen durch die ständige Online-Verfügbarkeit. Neben dem eigenen Zuhause, so wird vermutet, werden öffentliche Räume wie Cafés oder Züge zunehmend zu Arbeitsplätzen. Der suburbane Raum und möglicherweise sogar der ländliche Raum könnten als Wohnstandort von diesen Entwicklungen profitieren. Diese Entwicklung kann zwar zu einer freien Wahl der Standorte führen, aber auch zur Vergrößerung von Distanzen, wobei die Häufigkeit von Arbeitswegen möglicherweise abnehmen wird.

Darüber hinaus bricht die virtuelle Mobilität bestehende Verhaltensmuster der realen Mobilität auf und kreiert Aktivitäten unabhängig von der Raumstruktur. Orte der Produktionen werden unwichtiger: z. B. können mithilfe von Virtual-Reality-Brillen entfernte Orte ohne Raumüberwindung aufgesucht werden und Therapien oder Besprechungen können in „virtuellen“ Räumen stattfinden. Dienstreisen können somit z. T. kompensiert werden, die zurückzulegenden Entfernungen der noch notwendigen Dienstreisen werden hingegen vermutlich weiter zunehmen.

Mit welcher Geschwindigkeit sich infolge der vorhergesagten Trends traditionelle Arbeitsplatzstandorte auflösen und damit die täglichen Pendlerverkehre verändern werden, und ob aufgrund wechselnder und veränderter Arbeitszusammenhänge möglicherweise mehr oder weniger, dafür aber weitere Dienstreisen notwendig werden,

ist zurzeit nicht abschätzbar. Die Intensität und Richtung der Veränderung sind von einer Vielzahl von zukünftigen Rahmenbedingungen abhängig und Effekte wird es in beide Richtungen geben, die aber wahrscheinlich nur für einen Teil der Bevölkerung zutreffen werden (vgl. dazu auch Holz-Rau/Scheiner 2020 in diesem Band).

Einkaufen

Die vielschichtigen Auswirkungen des Online-Handels auf den Raum und die Städte werden bereits seit etwa Anfang der 2000er Jahre diskutiert: „Zu den Folgen gehören beispielsweise der zunehmende Leerstand in klassischen Geschäftsstraßen, aber auch immer kürzere Nutzungszyklen von Handelsimmobilien, die Verödung öffentlicher Räume oder die Verschlechterung der Versorgungssituation in Teilräumen. Zunehmend spürbar werden die logistischen Veränderungen auf Ebene der Stadtteil- und Ortszentren, aber auch in den Wohngebieten, z.B. durch Lieferverkehre, Paketboxen usw.“ (zur Nedden/Hollbach-Gröming/Becker et al. 2017: 6). Der Online-Handel wird laut verschiedenen Prognosen weiter wachsen – in den einzelnen Kategorien unterschiedlich stark. So geht die GfK-Prognose zum Verkaufsflächenbedarf bis 2025 davon aus, dass der Marktanteil des Online-Handels im Einzelhandel von 8,5% im Bezugsjahr 2014 bis zum Jahr 2025 auf rund 15% ansteigen wird (vgl. Jahn 2015: 5). Vor allem im Lebensmittelbereich – FMCG (Fast Moving Consumer Goods) – könnte der Online-Handel noch einmal deutlich Anteile zulasten des stationären Handels gewinnen. Altenburg, Esser, Wittowsky et al. (2018: 111) gehen von einem Anstieg auf ca. 10% im Jahr 2030 aus (vgl. auch Altenburg/Kienzler/Esser et al. 2018), wobei in diesem Segment eine große Unsicherheit in der Markthochlaufphase und in der zukünftigen Nutzerakzeptanz vorhanden ist. Insgesamt scheint der Trend in der Kooperation und intelligenten Verknüpfung von stationärem und digitalem Einzelhandel, also dem diversifizierten Ausbau von Cross- und Multi-Channel-Ansätzen zu liegen. Immer mehr Städte unterstützen diesen Trend, indem sie neben Nahraumkonzepten auch den Aufbau von Netzwerken zum Online-Vertrieb für ortsansässige Einzelhändler fördern (z. B. Online City Wuppertal). Damit versuchen sie, gegenläufigen Flächenentwicklungstrends in Form steigender Lager- und Logistikflächen einerseits und sinkender Einzelhandelsflächen andererseits und den damit verbundenen negativen Auswirkungen des Online-Handels auf den stationären Einzelhandel entgegenzuwirken. Obwohl die verkehrlichen Effekte durch den Online-Handel quantitativ nur schwer nachzuweisen sind, da im Güterverkehr die verfügbaren Verkehrsstatistiken zu hoch aggregiert sind und im Personenverkehr die erhobenen Wegezwecke nicht deutlich genug auf den Online-Handel zugeschnitten sind, sind folgende Trends und Tendenzen voraussichtlich zu erwarten (vgl. Altenburg/Kienzler/Esser et al. 2018):

- > Deutliche Zunahme der Zahl der Liefervorgänge in Wohngebieten – auch durch die Entbündelung von Sendungsströmen – insbesondere im bislang noch schwach entwickelten Lebensmittelbereich;
- > der überwiegende Teil der Lieferungen wird wahrscheinlich aus Heimzustellungen bestehen, was zu zusätzlichem Verkehr in den Wohngebieten führen wird;
- > zwar werden die Fahrzeuge zukünftig vermehrt elektrisch betrieben und damit trotz steigender Verkehrsleistung die lokalen Luftschadstoffe und Lärmemissionen reduzieren, in den Abmessungen werden sie aber konventionellen Fahrzeugen

gleichen, sodass auch weiterhin mit Flächenkonkurrenzen, Verkehrsbehinderungen und Unfallrisiken in Wohngebieten und innerstädtischen Bereichen gerechnet werden muss;

- > zwar existiert ein hohes theoretisches Potenzial zur Reduktion von Einkaufsverkehr, aber durch vielfältige Gründe greift der Substitutionseffekt bislang nicht, zudem ist im Personenverkehr auch mit neuen Aktivitäten wie Abholungen und Retouren zu rechnen, die möglicherweise mit einer Zunahme des motorisierten Verkehrs verbunden sind;
- > durch innovative Konzepte können neue Flächenbedarfe für Pick-up-Points, Anlieferungsflächen und Mikro-Hubs in direkter Kundennähe entstehen;
- > gleichzeitig könnte der Flächenbedarf des Einzelhandels in bestimmten Bereichen zurückgehen.

Bildung

E-Learning-Angebote in der schulischen und außerschulischen Bildung können Lernprozesse unterstützen. Dazu gehören beispielsweise Online-Übertragungen von Lehrveranstaltungen, eine digitale und ortsunabhängige Zusammenarbeit von Lerngruppen sowie das Lernen mit multimedialen Lernmaterialien, die Textdokumente, Videos und Online-Übungen kombinieren (Heß/Polst 2017: 25). Schülerinnen und Schüler, insbesondere in dünn besiedelten Räumen, müssten nicht mehr an jedem Tag zur selben Zeit in eine Schule fahren, sondern könnten ihren Lernort entsprechend ihrem individuellen Lernstand wählen: einzelne Tage pro Woche zu Hause, in einem Gemeinderaum oder aber in einer zentral gelegenen Schule. Dabei hängen das Ausmaß und die konkrete Ausgestaltung dieser Art zu lernen sicher vom Alter der Kinder und der Schulform ab (Grundschule, weiterführende Schule oder berufsbildende Schule). Die positiven oder negativen Auswirkungen z. B. auf das Individuum, auf das Bildungswesen, auf Familienstrukturen, soziale Kontakte oder die Alltagsorganisation eines Haushalts, die solche Entwicklungen mit sich bringen können, sollen an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden (vgl. dazu Heß/Polst 2017: 27 f.).

Die verkehrlichen Folgen für die Schülerinnen und Schüler wären weniger bzw. an einigen Tagen der Woche kürzere Schulwege, an anderen Tagen aber deutlich weitere Wege, wenn Schulstandorte zusammengelegt werden. Gerade im ländlichen Raum würden sich dadurch die heute noch bündelbaren Schülerverkehre im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) weiter verringern und müssten durch neue nachfragebezogene Angebote (*on demand*) oder neue Finanzierungsmöglichkeiten wie Mobilitätsgutscheine ersetzt werden. Zudem wären auch weitere Schulstandortkonzentrationen vermutlich die Folge einer solchen Bildungspolitik.

Freizeit und Urlaub

Immer bessere Informationsangebote zur Freizeit- und Urlaubsgestaltung, digitale Buchungsmöglichkeiten, zahlreiche Apps für soziale und Freizeitaktivitäten erleichtern die Planung und Durchführung von Individualreisen – Heß und Polst (2017: 43) sprechen von „Massenindividualisierung“. Welche Auswirkungen sich auf Freizeit- und Urlaubsverkehre ergeben, hängt im Tourismusbereich neben Digitalisierungstrends

und neuen Mobilitätsangeboten auch von weltweiten Sicherheitsfragen und der ökonomischen Entwicklung ab. Ob darüber hinaus virtuelle Fernreisen mithilfe von Datenbrillen einen fernverkehrsreduzierenden Effekt haben werden, bleibt abzuwarten.

Die Auflistung der oben genannten Bereiche kann durchaus noch erweitert werden z. B. um die Felder Pflege sozialer Kontakte, Medizin mit Ferndiagnostik und -behandlung, digitale kommunale und staatliche Verwaltung, E-Governance oder produzierendes Gewerbe mithilfe von 3-D-Druckern. In allen Bereichen sind tiefgreifende Veränderungen zu erwarten. Allerdings sind sowohl die Befundlage als auch die Rahmenbedingungen zur Förderung oder zum Bremsen der Prozesse insgesamt noch sehr unklar, sodass die Ausmaße noch nicht abschätzbar sind – und demzufolge auch nicht die Auswirkungen auf Raum, Mobilität und Verkehr. Auch ist gesellschaftlich noch nicht entschieden, welche Veränderungen willkommen sind und welche Entwicklungen politisch gefördert, welche eher behindert werden und welche politisch kaum beeinflussbar sind.

3.3 Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten

Auch unabhängig von den im vorigen Kapitel beschriebenen möglichen Entwicklungen der Digitalisierung in den verschiedenen Lebensbereichen mit mittelbaren Folgen auf Verkehr- und Raumentwicklung hat bereits heute die Verbreitung von Smartphones mit ihren technischen Fähigkeiten großen Einfluss auf das Mobilitätsverhalten. Smartphones haben inzwischen in vielen Bereichen den Charakter von Mobilitätszentralen übernommen. Sie halten für die Nutzerinnen und Nutzer eine große Fülle an dynamischen Informationen in Echtzeit bereit, die sowohl die Planbarkeit und Verlässlichkeit von Reisen deutlich verbessern als auch spontane Änderungen in der Wahl des Abfahrzeitpunktes und der Routen-, Ziel- oder Verkehrsmittelwahl zulassen. Sie unterstützen Verkehrsentscheidungen und zeigen multimodale Alternativen auf oder warnen bei Störungen. Echtzeitinformationen, Online-Buchungen, Ticketing sowie Routennavigation sind Bestandteil der Alltagsmobilität vieler Menschen. Informationen und Interaktionen beeinflussen so die Verkehrsteilnahme aktiv bei der Planung und der Ausführung von Aktivitäten und der Durchführung von Wegen, die in Handlungsroutrinen übergehen können. Welche Fahrtroute hat die geringste Reisezeit, was sind aktuelle Abfahrzeiten, gibt es Verspätungsmeldungen, wo ist der nächste freie Parkplatz – das Smartphone ist gleichzeitig ein persönlicher Mobilitätsassistent sowie ein elektronisches Ticket und Zugangsschlüssel für den öffentlichen Verkehr (ÖV) oder Sharing-Systeme.

Die digitale Vernetzung der Verkehrssysteme schafft so die Voraussetzung, dass die bestehende Infrastruktur effizienter genutzt und neue Verkehrsmitteloptionen (Multioptionalität) besser wahrgenommen werden können. Als Folge der Smartphone-Entwicklung wird insbesondere in Großstädten mit den entsprechenden Angeboten aus Fußverbindungen, Leihfahrrädern, Taxis und taxiähnlichen Angeboten (*ride-selling/ride-pooling*), klassischem Carsharing und Free-Floating-Angeboten vermehrt ein multimodales und intermodales Verhalten erwartet.

Jüngere empirische Untersuchungen versuchen nun, erste Ergebnisse hinsichtlich der Veränderungen im Mobilitätsverhalten auch als Folge des Einsatzes neuer digitaler Angebote, die das Smartphone ermöglicht, zu generieren. Insbesondere die Veränderung von Mobilitätsverhalten im Zusammenhang mit der Nutzung verkehrsbezogener IKT-Anwendungen, also von Verkehrsinformations- und Navigationsdiensten, steht dabei im Mittelpunkt (z. B. Wittowsky 2008; Konrad/Wittowsky 2016).

Das routinisierte Festgelegtsein im Alltag auf ein bestimmtes Verkehrsmittel als Ausdruck von Bequemlichkeit, aber auch Verlässlichkeit und Sicherheit, bricht tatsächlich bei jüngeren Menschen auf. Die häufig im Zusammenhang mit der Nutzung digitaler Endgeräte geäußerte weitergehende Erwartung, dass die Zunahme der Multimodalität auch mit einem Modal Shift vom motorisierten Individualverkehr (MIV) auf den öffentlichen Verkehr, neue Mobilitätsdienstleistungen und den Fahrradverkehr verbunden ist, lässt sich bislang empirisch aber nicht feststellen. Zudem sind die digital unterstützte Buchung von Carsharing, das mobile Ticketing im ÖV, die digitale Bereitstellung von Parkscheinen und die Fahrradmiete mittels App noch sehr gering – am ehesten werden sie in Ballungsräumen angeboten und genutzt.

Konrad und Wittowsky (2016: 56 ff.) stellen 14- bis 24-Jährige in den Mittelpunkt ihrer Untersuchung. Mit einer Befragung zur Nutzung von IKT, Social Media, zu mobilitäts- und kommunikationsbezogenen Einstellungen sowie mit einem Wegetagebuch und einem IKT-Protokoll gehen sie der Frage nach, welche Effekte die virtuelle Mobilität auf die physische Mobilität von jungen Menschen hat. Dabei stellen auch sie sich folgende Fragen (vgl. Kap. 3.1): Können Wege wegfallen, verändern sich Wege oder entstehen neue Wege aufgrund der Nutzung von Internet, Smartphone und anderen Multimediageräten? Im Ergebnis zeigt sich, „dass Jugendliche und junge Erwachsene ihre physische Mobilität durchaus in Abhängigkeit von Smartphone- und Internetnutzung sowie Social Media sehen (...)“ (Konrad/Wittowsky 2016: 57). Dabei ist die Richtung der Beeinflussung, ob Substitution oder Induktion, nicht pauschal feststellbar. Sie scheint u. a. vom Wegezweck abzuhängen und stellt sich als komplexes Wirkungsgefüge von virtueller und physischer Mobilität dar: Die sozialen Netzwerke führen nach Selbsteinschätzung der Befragten z. B. zu eher weniger Treffen mit Freunden, dagegen aber zu eher mehr und längeren Wegen infolge neuer Aktivitätsoptionen insgesamt. Bislang fehlen aber Längsschnittstudien über das Verhalten der Digital Natives im Erwachsenenalter. Sind hier bestimmte Prägungen zu erwarten, die das Mobilitätsverhalten langfristig beeinflussen?

Insgesamt wird festgestellt, dass täglich viel Zeit mit Social Media und Kommunikation verbracht wird und dass diese Art der virtuellen Mobilität eng mit der physischen Mobilität verwoben ist. So entsteht an knapp jedem zweiten Tag eine Reorganisation der Wege und Aktivitätsmuster durch den Einfluss von IKT, also eine Veränderung des geplanten Verhaltens durch Modifikation, Substitution und Induktion. Insgesamt führt die IKT-Nutzung aber eher zu mehr Wegen, da mit der Technik neue Aktivitäts- und Mobilitätsoptionen eröffnet werden.

Die zunehmende digitale Vernetzung der Lebensbereiche wirkt also nicht nur auf die Art und Weise, wie Verkehrsmittel genutzt, kombiniert und gesteuert werden, sondern auch auf alltagsrelevante Lebensbereiche selbst.

4 Digitalisierungstrends und Fahrzeuge

4.1 Verkehrstelematik und Vernetzung

Bereits seit den 1980er Jahren werden Telematikanwendungen (**Tele**kommunikation + **Inform**atik) im Verkehrssektor eingesetzt, um zu informieren, zu optimieren, zu beeinflussen und zu steuern. Ziele sind die Erhöhung der Verkehrssicherheit, die Verringerung von Umweltbelastungen sowie die Förderung eines inter- und multimodalen Verhaltens. Dabei können unterschiedliche Aufgabenfelder definiert werden, wobei sich die Kernbereiche wie folgt darstellen: Steuerung bzw. Unterstützung von Fahrzeugbewegungen und Navigation, Vernetzung von Mobilitätsangeboten, Bereitstellung von Echtzeitinformationen, Förderung virtueller Mobilität und Online-Angebote sowie die Gewinnung von Daten (Big Data/Geotracking).

Gemessen an den ursprünglichen Erwartungen, Anteile des Umweltverbunds am Modal Split durch informatorische und verkehrstelematische Maßnahmen zu erhöhen, sind die Erfolge der letzten Jahrzehnte eher moderat ausgefallen. Stattdessen ist die Verkehrstelematik vor allem ein wirksames Werkzeug in der Verkehrssteuerung und Verkehrsplanung zur Erhöhung von Kapazitäten ohne die Umsetzung neuer Infrastrukturmaßnahmen. Allerdings soll an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass eine Kapazitätserhöhung des Systems nicht automatisch nur positive Effekte erzielt, sondern diese Effizienzsteigerung – ohne gleichzeitige Restriktionen oder begleitende umfassende Informationen – auch mehr Verkehr zulassen kann. Verbesserte Parkleitsysteme und Parkinformationen führen zwar bestenfalls zu weniger Parksuchverkehren und damit positiven Effekten, andererseits erhöht dies aber auch die Nachfrage der einfahrenden Fahrzeuge. Mehr Online-Handel führt zu mehr Lieferverkehren und damit höheren Belastungen für Anwohner und das Verkehrssystem. Ein umweltsensitives Routing verlagert Emissionen von Durchfahrtsverkehren in weniger vulnerable Räume, schafft so aber auch freie Kapazitäten auf den ursprünglichen Routen für neue Verkehre. Kapazitätserhöhungen auf den Stadtautobahnen und Hauptverkehrsstraßen finden ihren Fortsatz in den städtischen Quartieren, wo die Pkw dann abgestellt werden. Insofern könnten die aktuellen Verkehrsmengen ohne Leit- und Steuerungssysteme – auch in urbanen Räumen – wohl kaum noch störungsfrei im Verkehrssystem verteilt werden, gleichzeitig aktivieren sie aber auch – ohne entsprechende Förderung nachhaltiger Infrastrukturen und Verkehrsangebote – den Anstieg des Kraftfahrzeugverkehrs und damit die negativen sozialen Folgen und Umweltschäden.

Erste Pilotversuche, den Verkehr auch stärker emissionsabhängig zu steuern, werden aktuell umgesetzt, um vorhandene Kapazitäten besser auszulasten und gleichzeitig die Gesundheit der Menschen stärker zu schützen. In Abhängigkeit von der aktuellen Verkehrssituation werden daher Strategien, Maßnahmen und Schaltprogramme an die jeweilige Situation angepasst, sodass sowohl das individuelle Fahrzeug als auch das Kollektiv beeinflusst wird. Letztendlich wird versucht, innerhalb der Verkehrssysteme mittels Informationen Entscheidungsprozesse der Verkehrsteilnehmer situativ zu beeinflussen und Verhaltensänderungen auszulösen, um die Nachfrageströme im Verkehrssystem im Spannungsfeld von Nutzer- und Systemoptimum effizient zu verteilen. Obwohl technologisch bedingte Effizienzgewinne durchaus erzielt werden konnten,

wurden diese durch Rebound-Effekte teilweise auch wieder aufgezehrt. Frühere Studien zeigen, dass die Art der evaluierten oder simulierten Wirkungseffekte vielfältig ist: Routenwahlverhalten, Fahrzeitreduzierungen, Verlagerungspotenziale auf den ÖPNV oder Carsharing, Veränderungen von Abfahrzeiten oder die Reduzierung von Stautunden, der Rückgang von (schweren) Unfällen bzw. die Reduzierung von Lärm- und Schadstoffemissionen. Der Nutzen von Verkehrssteuerungs- und Beeinflussungsanlagen als „intelligente Verkehrssysteme“ (IVS) ist vorhanden und sowohl die Verkehrssicherheit als auch die Effizienz und die Umweltverträglichkeit konnten lokal gesteigert werden (Keller/Neuherz 2002; Kämpf/Keller 2001; Hessen Mobil 2018). So konnten durch rechnergestützte Verkehrsbeeinflussungsanlagen die Anzahl der Stautunden um bis zu 10% und Unfälle mit Personenschäden lokal um fast 50% reduziert werden. Auch im städtischen Straßenverkehr konnte in Einzelfällen der Parksuchverkehr durch den Einsatz von Parkleitsystemen um bis zu 40% reduziert werden (Hessen Mobil 2018; Landeshauptstadt München Kreisverwaltungsreferat 2003; Winkler/Bschorr 2002). Zudem konnten öffentliche Nahverkehrsunternehmen mit rechnergestützten Betriebsleitsystemen die Umlaufzeiten um bis zu 15% verkürzen und durch Verkehrsinformationen wurde die Anzahl der ÖV-Fahrten gesteigert (Kühne 2002; Busch/Fiedler/Friedrich et al. 2012 oder Wittowsky 2008). Auch Transportunternehmen nutzen rechnergestützte Logistik- und Flottenmanagementsysteme, um Touren zu optimieren und Leerfahrten zu minimieren. Die Effektgrößen variieren dabei sehr stark und die Wirkungseffekte von IKT werden oft durch andere Maßnahmen überlagert und können nur schwer evaluiert werden (vgl. Maier/Grötsch 2016).

Jedoch muss konstatiert werden, dass Deutschland erst spät in das digitale Zeitalter eingestiegen ist und nur langsam in Schwung kommt, um damit die Verkehrswende zu forcieren. Zunächst stand – vor allem im ÖPNV – die Optimierung des Betriebsablaufs (rechnergestützte Betriebsleitsysteme oder Priorisierung an LSA-Knotenpunkten) im Vordergrund. Dynamische Reiseinformationen, Push-Störungsmeldungen oder elektronische Ticketsysteme sind zwar mittlerweile in vielen Verkehrsverbänden Standard, aber ein einheitliches deutschlandweites Ticketsystem (Bezahl-App) und die Vernetzung zwischen den Verkehrssystemen (deutschlandweite Fahrplanauskunft Delfi) fehlen weiterhin. Immer noch werden proprietäre Insellösungen gefördert und umgesetzt, sodass interoperable Systeme kein Standard sind. Auch das digitale Infotainment und kostenloses Wi-Fi – als Ergänzung eines grundsätzlichen ÖPNV-Angebotes – finden nur langsam den Weg in Busse und Bahnen des Nahverkehrs. Dabei kann die Nutzung von digitalen Medien, während der Fahrt im ÖV virtuell mobil zu sein (Unterhaltung, soziale Interaktion, Arbeiten, Online-Shopping), die Attraktivität des ÖV positiv beeinflussen.

In der Zukunft bleibt abzuwarten, inwieweit neue Technologien, Datenstrukturen und Mobilitätsdienstleistungen zu weiteren Effizienzsteigerungen oder möglicherweise auch zu mehr Verkehrswachstum beitragen werden. Um Technikrends und die Art und Intensität der Folgen für den Verkehr besser zu verstehen, sind Szenarien und Technikfolgenabschätzung in der Planung nötig. Die Akzeptanz von sogenannten „intelligenten Verkehrssystemen“ scheint in der Bevölkerung zumindest teilweise vorhanden zu sein und die digitale Transformation der Mobilität wird als Chance gesehen, die Mobilität störungsfrei, sicherer, zugänglicher und ressourcenschonender zu ge-

stalten. Aber auch Risiken hinsichtlich Akzeptanz, Datenschutz, Datensicherheit und Anfälligkeit der Systeme werden kritisch betrachtet (Ametsreiter 2017; vgl. auch Dangschat 2020 in diesem Band).

Für einen effektiven Einsatz von verkehrstelematischen Anwendungen ist auch die Anpassung von ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen notwendig. Sowohl für den ÖPNV als auch den Straßenverkehr gibt es daher Roadmaps (z. B. Initiative Digitale Vernetzung im ÖPNV) oder auch das „Intelligente Verkehrssysteme Gesetz“ (IVSG), in denen zumeist die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen sowie die rechtlichen Forderungen aufgelistet sind, die Integration und Interaktion weiterer Mobilitätsakteure jedoch kaum Beachtung findet. Mobilitätsakteure sind neben den Nutzern im ÖPNV oder im Straßenverkehr diejenigen, die Daten generieren wie z. B. Mobilfunkbetreiber, die Daten sammeln, verknüpfen und verarbeiten, Verkehrsinformationen bereitstellen und Mobilitätsdienste anbieten wie z. B. Navigationsdienste mit Echtzeitinformationen.

Neben klassischen Verkehrssensoren erfassen immer mehr mobile Sensoren automatisiert Bewegungsmuster (Handy, Fahrzeuge, Apps). Die Debatte um die Erzeugung, Verarbeitung, Verknüpfung und Nutzung dieser Daten dreht sich einerseits um die Potenziale, die auch im Sinne einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung eingesetzt werden könnten: das Wissen um räumliche und zeitliche Bewegungsmuster kann z. B. als Planungsgrundlage, zur Verkehrsüberwachung und -steuerung in Echtzeit, aber auch für die Erforschung des Mobilitätsverhaltens eingesetzt werden. Die dafür notwendigen Big-Data-Analysen dürften dabei nicht alleine von kommerziellen Akteuren wie Google, TomTom oder Telefonica entwickelt und betrieben werden, sondern müssen auch der öffentlichen Hand, den Kommunen und der Wissenschaft zur Verfügung stehen. Mit dem Marktplatz für Verkehrsdaten MDM der Bundesanstalt für Straßenwesen (2018) gibt es beispielsweise bereits eine Business-to-Business-Plattform (B2B), auf der Anbieter und Nutzer Verkehrsdaten mit definierten Standards für den Datenaustausch bereitstellen und nutzen können. Ziel des MDMs ist es, bei dynamisch wachsenden Verkehrsdaten einen elementaren Baustein für ein ITS (*intelligent transport system*) in Europa bereitzustellen.

Ob und wann aus der Big-Data-Analyse und den Entwicklungen im autonomen Fahren schließlich neue, stadtverträgliche Verkehrssysteme entstehen können, die elektrisch betriebene, autonom fahrende, geteilt genutzte Fahrzeuge als sogenannte Schwarmmobilität miteinander vernetzen, bleibt abzuwarten – ebenso die Frage, von wem diese dann betrieben werden. Auf der anderen Seite der Debatte stehen aber heute schon die Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit, der Gefahren von Überwachung und Kontrollen. Diese Fragen müssen gesellschaftlich geklärt werden und dürfen nicht dem technologischen Fortschritt untergeordnet werden.

4.2 Navigation und Assistenzsysteme

Fahrerassistenzsysteme werden schon seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt. Diese nehmen wie menschliche Fahrer Informationen auf, verarbeiten sie und können direkt oder indirekt eine Reaktion innerhalb des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Umgebung einleiten. Vor allem in kritischen Situationen sollen sie die Fahrer entlasten, unterstützen und die Verkehrssicherheit erhöhen bzw. Gefahrensituationen frühzeitig vermeiden. So können sie unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslage z. B. zum Ziel navigieren oder die Fahrer mittels Sprachnachricht (Push-Dienste) über aktuelle Störungsmeldungen informieren. Durch leistungsfähige Algorithmen und Informationsverarbeitung sind diese Systeme immer mehr in der Lage, autonom oder teilautonom in die Fahrzeugsteuerung einzugreifen, wie z. B. durch automatisches Abbremsen mittels eines Abstandsregeltempomats (Adaptive Cruise Control – ACC). In den letzten Jahren ist die Serienausstattung der Fahrzeuge mit innovativen Technologien (Antiblockiersystem, das es schon länger gibt, Einparkassistent, Elektronisches Stabilitätsprogramm, Reifendruck-Kontrollsystem oder CruiseControl, Verkehrszeichenerkennung, Spurwechselassistent) stark angestiegen. Damit ist die Technologie in den Fahrzeugen bereits viel weiter als bei sogenannten intelligenten Verkehrssystemen (IVS).

Dabei findet eine Interaktion zwischen Mensch und Technik auf verschiedenen taktischen und strategischen Ebenen statt, die ein vertieftes Verständnis über Entscheidungsprozesse und Wahrnehmungen erfordern. Darüber hinaus wird das Unterwegssein durch die Digitalisierung und Automatisierung multifunktionaler und die Zeit kann z. B. durch Kommunikation oder mit Arbeitsprozessen effizienter genutzt werden als bisher. Diese weitere Attraktivitätssteigerung beim Auto, die selbst das Stehen in einem Stau angenehm gestaltet, wird vermutlich weitere Nachfrage und damit Autoverkehr generieren. Zudem bekommen die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine zunehmend eine größere Rolle und Verhalten und Entscheidungen werden von Assistenten, Apps oder Navis beeinflusst. Somit werden immer mehr menschliche Entscheidungen oder Kontrollen an Systeme abgegeben, wodurch zwar weiterer Komfort entsteht, aber auch individuelle Kompetenzen auf Dauer verloren gehen und sich eine noch größere Systemabhängigkeit herausbilden wird.

Die Vernetzung der unterschiedlichen Verkehrs- und Datensysteme wird die Entwicklungen im Verkehr weiter vorantreiben. Vor allem disruptive Player wie z. B. flinc, Uber, Grab oder Google treiben den Einsatz von IKT und neuen Technologien massiv voran und verändern die analoge Verkehrswelt mit innovativen Geschäftsmodellen. Flatrates, *communities*, Sharing-Produkte und cloudbasierte Dienstleistungen sind aus der IT-Welt kaum wegzudenken und entsprechende Ansätze werden auch in den Verkehrssektor stärker integriert werden. Zum Teil stoßen diese aber auf enormen Widerstand und die Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf die Verkehrsmittel wird sich neu aufstellen, wenn Rahmenbedingungen verändert werden oder die Mobilitätskultur sich verändert.

Vor allem durch günstigere und leistungsfähigere Technologien mit einer schnellen Informationsverarbeitung werden in Zukunft erheblich verbesserte Systeme entwickelt und eingesetzt. Besonders verbreitet sind bereits der Tempomat, die Einparkhilfe, die Lichtautomatik sowie die dynamische Navigation. Fahrerinnen und Fahrer schätzen vor allem Notbremssysteme, Auffahrwarnsysteme sowie den Totwinkel-Assistenten und Einparkhilfen als sinnvolle Assistenzsysteme ein, die das Fahren komfortabler und sicherer machen (Ernst & Young GmbH 2017). In Zukunft wird auch künstliche Intelligenz (KI) eine größere Rolle spielen und die Fahrzeuglenker in kritischen Situationen informieren oder gleich eingreifen. Dies erfordert bei den Entwicklern jedoch eine hohe Qualität an Wissen über die Infrastrukturen und Entscheidungsmechanismen, die die KI-Systeme „lernen“ müssen. Aus Sicht der Verkehrssicherheit, aber auch der Verkehrssteuerung ergeben sich technische und rechtliche Regelungsbedarfe für solche Situationen, in denen in Zukunft im Alltag Assistenzsysteme und KI auf von Menschen gelenkte Fahrzeuge treffen.

Der nächste Entwicklungsschritt ist die Vernetzung des Verkehrs durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation mit sogenannten intelligenten (autonomen) Fahrzeugen. Was früher noch als Vision galt, ist mittlerweile in Forschungsprojekten auf technische Machbarkeit und wirtschaftliche Tragfähigkeit getestet worden und bereit für die öffentliche Vorstellung des Systems, den sogenannten Roll-out. Exemplarisch für zahlreiche Forschungsprojekte sind hier Cartox² (eine Serviceplattform für urbane Abdeckung von Car-to-Car-Kommunikation), Adaptive (Kooperation zwischen Fahrer und Assistenzsystemen), simTD (Sichere und intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland), C-Roads Germany (Vernetzung und Kooperation im Verkehrssystem) sowie das Car 2 Car Communication Consortium oder die VDA Leitinitiative (Koordinierungsstelle des VDA zur Vernetzung von Industrie und Politik) zu nennen. Mithilfe der Car-to-Car- (C2C) oder Vehicle-to-Vehicle- (V2V) bzw. auch C/V-to-x-Kommunikation kann z.B. der Wahrnehmungshorizont über den sichtbaren und hörbaren Bereich der Umgebung hinaus vergrößert werden. Fahrzeuge tauschen untereinander und mit Infrastrukturen bzw. anderen Verkehrsteilnehmern Daten und Informationen aus. So können neue kooperative Fahrerassistenzsysteme realisiert werden und mobile Ad-hoc-Netze zum Austausch von Informationen selbstorganisiert initiiert werden. Dies ermöglicht es zum einen, den Verkehrsfluss zu optimieren (Abstände konstant halten, Überreaktionen vermeiden), zum anderen, Unfälle durch kooperative Fahrerassistenzsysteme zu vermeiden (stehendes Fahrzeug voraus, virtuelles Warndreieck, Notbremsung). Darüber hinaus können bei freien Parkplätzen oder Baustellen Informationen ad hoc weitergegeben werden und optimierte Lösungsstrategien – z.B. auch für ein umweltsensitives Routing – umgesetzt werden.

Das Fahrzeug als mobiler Sensor und Datensammler generiert neue Möglichkeiten in der Raumanalyse und zur Verkehrssteuerung in Form von Netz- und Linienbeeinflussungen oder strategischen Routenempfehlungen. Sowohl politisch als auch gesellschaftlich werden darüber hinaus hohe Erwartungen an innovative Technologien und deren mögliche positiven Effekte auf die zukünftige Gestaltung von Städten und Verkehrssystemen gestellt. Negative Auswirkungen z.B. auf die Gesundheit oder Stressbelastungen infolge ineffizienter Mobilität sollen minimiert, darüber hinaus Luftschadstoffe und Lärmbelastungen abgebaut sowie die Verkehrssicherheit erhöht werden.

4.3 Gebaute Umwelt und Smart City

Smart Cities bezeichnen nach dem Deutschen Institut für Normung (DIN) einen Siedlungsraum, in dem systemisch (ökologisch, sozial und ökonomisch) nachhaltige Produkte, Dienstleistungen, Technologien, Prozesse und Infrastrukturen, in der Regel unterstützt durch hochintegrierte und vernetzte Informations- und Kommunikationstechnologien, eingesetzt werden (vgl. DIN e. V. 2015). Heruntergebrochen auf die Ebene der Stadt drücken sich diese Erwartungen in stadtplanerischen Leitbildern wie „Post-Oil-City“ oder „Smart City“ aus (vgl. Kollosche/Schwedes 2016: 12). Insbesondere das Leitbild einer Smart City hat starke Ansätze im Mobilitäts- und Transportbereich, aber auch in der Vernetzung infrastruktureller Systeme wie Energie und Verkehr, Wasser und Energie, oder auch in Verwaltungsprozessen und Beteiligungsverfahren. Bei der klimapolitisch erforderlichen Dekarbonisierung spielt der Verkehrssektor bisher jedoch eine unzureichende Rolle und auch wenn die Smart City technologisch möglich ist, würden sich kurzfristig nur moderat Mobilitätsveränderungen einstellen.

Die Smart City wird geprägt von technologischen Visionen und Unternehmensstrategien, die Lösungen durch innovative Technologien entwickeln und installieren. Allerdings besteht in den Kommunen zumeist nur geringer Handlungsdruck bzw. das Know-how fehlt, sodass oftmals strategisch an den Zielvorstellungen vorbeigeplant wird. In der Praxis ist demzufolge ein ganzheitlicher Ansatz weiterhin kaum zu erkennen, obwohl die Vernetzung von unterschiedlichen Bereichen und der Austausch von Informationen angestrebt werden. Besonders auf EU-Ebene finden vermehrt auch partizipative Elemente eine starke Rolle in der Entwicklung von smarten Konzepten.

Die Digitalisierung ist eine integrative Größe in diesen Konzepten (vgl. Bronnert/Jaekel 2013). Ein mögliches verkehrsplanerisches Szenario als Bestandteil der Smart City umfasst den deutlichen Ausbau des öffentlichen Verkehrs als Grundlage für einen effizienten, klimafreundlichen und platzsparenden Verkehr sowie die Entwicklung weiterer Mobilitätsangebote, die den ÖPNV mit dem spontan nutzbaren motorisierten Individualverkehr verknüpfen. Dafür sind die neuen Medien und dahinterliegende große Datenverknüpfungs-Plattformen die Voraussetzung. Erwartet wird, dass mit den neuen Medien und entsprechenden Apps bisherige Hemmnisse des Übergangs zwischen ÖV und MIV überwunden werden und „neue Horizonte für modernen Paratransit [Monheim: ‚der informelle ÖPNV‘] auf Massenbasis“ eröffnet werden (Monheim 2015: 31 f.). Unbeantwortet sind in diesem durch technologische Entwicklungen getriebenen aktuellen verkehrswissenschaftlichen Diskurs die Fragen nach der sozialen Dimension von Städten, der Akzeptanz und grundsätzlich der Nutzerrelevanz.

Als *living lab* werden in Deutschland die unterschiedlichsten, zum Teil ressourcenschonenden Mobilitätssysteme und -dienstleistungen getestet. Carsharing, Bürgerbusse, private Mitfahrssysteme oder Mietfahrräder sind nur einige. Jedes System für sich erscheint konsistent zu sein, aber ein integratives vernetztes Mobilitätssystem zusammen mit dem vorhandenen öffentlichen Personenverkehr existiert bislang als gesamtgesellschaftlicher Systemgedanke nur ansatzweise. Dabei scheint die intelligente Vernetzung der verschiedenen Verkehrsträger (inklusive Infrastrukturen und Datenströme) not-

wendig, um ein inter- bzw. multimodales Mobilitätsverhalten zu fördern. Auch wenn als nächste Stufe das vollautomatisierte Fahren und die Übernahme der Fahraufgabe anstehen sollten, liegt die Vernetzung der Fahrzeuge mit externen Systemen und die intelligente Steuerung von Nachfrage und Angeboten über Mobilitätsagenten und Telematiksysteme weiter im Fokus der Betrachtung. Jedoch ist das eigene Auto in unserer Gesellschaft nach wie vor ein Sinnbild für eine scheinbar unbegrenzte individuelle Mobilität und genießt eine große Wertschätzung mit einer hohen emotionalen Bindung. Deshalb müssen die neuen digitalen Mobilitätsdienstleistungen, die auf geteilte Fahrzeuge setzen und damit die notwendige Anzahl an Pkw deutlich reduzieren könnten, von ihrer Funktionalität her überzeugen. Gleichzeitig sind aber auch entsprechende politische und rechtliche Rahmensetzungen nötig, die aus Gründen des Klimaschutzes, des Gesundheitsschutzes, der Verkehrssicherheit und der Lebensqualität in den Städten hohe Anforderungen an den privaten Pkw-Besitz stellen und damit Hürden errichten.

5 Schlussbetrachtung

Der Einsatz von neuen Technologien kann ein Baustein für ein nachhaltiges Verkehrssystem sein. Um die Potenziale abzurufen, müssen jedoch auch der politische Wille vorhanden und rechtliche Rahmenbedingungen klar definiert sein. Aktuelle Entwicklungen um schlechte Werte bei Stickstoffoxiden wären ein starker Aktivator, um umweltsensitive Maßnahmen und Steuerungsoptionen in Konzepten zu installieren – aber auch, um den motorisierten Individualverkehr grundsätzlich zu verringern und das individuelle Verhalten in Richtung einer nachhaltigen Mobilitätskultur zu lenken. Die digitale Durchdringung der Lebensbereiche (oder vielleicht auch erst deren Beginn) scheint bekannte Verhaltensroutinen aufzulösen, da „Big Data“, „virtuelle Realitäten“ bis hin zu „selbstfahrenden Fahrzeugen“ in Zukunft immer stärker den Alltag erreichen werden – falls die technologische Entwicklung und ihre Akzeptanz in der Bevölkerung, wie oben beschrieben, weitergeht und nicht durch z. B. politische Entscheidungen eine völlig andere Richtung bekommen sollte (ein Beispiel eines solch radikalen politischen Kurswechsels ist das Ende der Atomkraft nach der Katastrophe von Fukushima). Das Spannungsfeld von sozio-technischen Utopien erfordert die Preisgabe von Daten und Informationen – Grundvoraussetzung für die Steuerung. Daneben ist aber auch das Wissen in der Bevölkerung notwendig, mit diesen Systemen umzugehen. Um Akzeptanz aufzubauen, Konfliktpotenziale zu minimieren und auch soziale Exklusion oder Ungleichheit bezüglich der Nutzung von bestimmten Mobilitätsangeboten zu vermeiden, muss Raum für eine Mitgestaltung durch die Bevölkerung aber auch gegeben sein.

Chancen und Risiken von technologischen Innovationen

Die Erwartungen hinsichtlich sich verändernder Verkehrsstrukturen und sich verändernden Mobilitätsverhaltens, die mit der Digitalisierung und Vernetzung einhergehen, sind sowohl vonseiten der Politik, der Hersteller als auch der Nutzer groß. Potenziale zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, Steigerung der Effizienz der vorhandenen Infrastruktur sowie bestenfalls auch die Verringerung von Emissionen durch Telematik- und Assistenzsysteme sind durchaus vorhanden.

Zum Beispiel könnten Tempolimits in der Stadt und außerorts automatisch eingehalten werden, Türen könnten blockiert werden, wenn sich Fahrradfahrerinnen und Fahrradfahrer nähern, Abbiegeassistenten an Lkw könnten Unfälle mit Radfahrerinnen und Radfahrern verhindern. Diese vor allem sicherheitsrelevanten technologischen Innovationen könnten erheblich zum verträglichen Verkehr beitragen. Die technologische Entwicklung ermöglicht aber auch das Gegenteil: Die Verstetigung des Verkehrsflusses bei gleichmäßig hohen Geschwindigkeiten im motorisierten Verkehr würde z.B. die Durchlässigkeit für den Fuß- und Radverkehr erschweren und freie Kapazitäten für mehr motorisierten Verkehr schaffen, was wiederum negative Umweltauswirkungen zur Folge hätte.

Neben der Weiterentwicklung von Assistenzsystemen bis hin zum autonom fahrenden Fahrzeug (vgl. Beckmann 2020 in diesem Band) helfen Apps zur besseren Echtzeit-Information und zur schnellen Buchung von neuen Mobilitätslösungen sowohl im individuellen als auch im öffentlichen Verkehr. Entscheidungen über Routen, Abfahrzeiten und Verkehrsmittel können entsprechend der individuellen Anforderungen und der Verkehrslage getroffen werden. Hier stehen sowohl individuelle Komfortgewinne und Entscheidungsunterstützungen für die Nutzerinnen und Nutzer als auch Veränderung im modalen Verhalten im Vordergrund. Verlagerungseffekte auf öffentliche Verkehrssysteme konnten bislang zwar nur marginal festgestellt werden, aber vor allem in urbanen Räumen sind multimodale Verhaltensweisen und Sharing-Communities abseits des privaten Autos durchaus zu beobachten. Sollten Verlagerungseffekte als Ziel der Verkehrssteuerung ausdrücklich verfolgt werden, reichen App-gestützte Angebote zur Information und Kommunikation im öffentlichen Verkehr alleine nicht aus. Diese müssten mit Maßnahmen z.B. zur Parkraumbegrenzung und -bewirtschaftung, Neuaufteilung des Straßenraumes zur Reduzierung des motorisierten Verkehrs und weiteren Push-Maßnahmen kombiniert werden.

Auch die theoretisch begründbare Erwartung, dass aufgrund vermehrter virtueller Mobilität, z.B. über soziale Medien und Online-Shopping, Wege und damit Verkehr vermieden werden könnten, kann empirisch bislang nicht belegt werden. Am Beispiel von Jugendlichen, die als besonders affin für neue Medien gelten, konnte gezeigt werden, dass das Wirkungsgefüge aus virtueller und physischer Mobilität komplex ist und gleichzeitig sowohl zu mehr als auch zu weniger Wegen sowie zu veränderten Wege- und Aktivitätsmustern führt.

Mögliche Auswirkungen auf die Raumentwicklung

Was bedeuten diese Trends in Kombination mit den erwartbaren Folgen der Digitalisierung auf die Alltagsaktivitäten nun für die Verkehrs- und Raumentwicklung?

Der Alltag aus Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Bildung, Kultur, Freizeitgestaltung, medizinischer Versorgung usw. wird sich wegen der Digitalisierung vermutlich räumlich weiter entflechten. Die Notwendigkeit, dass z.B. Wohn- und Betriebsstandort räumlich eng beieinanderliegen, wird weiter abnehmen. Gleichzeitig steigt die Chance, dass von zu Hause aus gearbeitet werden kann, zumindest an einigen Tagen in der Woche. Wohnorte können deshalb in Zukunft besser nach anderen Kriterien als der Nähe zum Arbeitsplatz, zumindest eines Haushaltsmitglieds, gewählt werden. Hierunter fallen

beispielsweise familiäre und freundschaftliche Beziehungen, Präferenzen bei der Wohnform und dem Wohnumfeld, Vorhandensein und Qualität von sozialer Infrastruktur sowie Kostengründe. Es wird wahrscheinlich einfacher werden, dass in Partnerschaften beide Berufstätige Arbeitsstellen nach ihrer Qualifikation finden, auch wenn eine oder beide Arbeitsstellen weit entfernt vom Wohnort liegen, da sie nicht mehr täglich aufgesucht werden müssen. Einerseits könnten also auf der individuellen Ebene zukünftig tatsächlich Arbeitswege, aber auch Wege zu Schulen, zu Ärzten oder in der Freizeit eingespart werden. Andererseits werden diese Wege aber länger und gerade das Online-Einkaufen wird zu mehr Güter-, Kurier- und Paketdienstverkehr führen.

Auch die Art, wie die Wege zurückgelegt werden, wird sich vermutlich verändern: Verbesserte Informationen über aktuelle Verkehrslagen wie Staus im motorisierten Individualverkehr oder Verspätungen im öffentlichen Verkehr, moderne Mitfahrportale zur Bildung von Fahrgemeinschaften, vermehrt und verbessert vernetzte Fahrzeuge und Infrastrukturen für eine stetigere Verteilung von Verkehrsflüssen, einfache Buchungs- und Rufsysteme für Carsharing-Fahrzeuge oder On-Demand-Angebote im öffentlichen Verkehr werden das Zurücklegen der Wege erleichtern. Entsprechend werden sie zur Verringerung von Raumwiderständen insbesondere im Straßenverkehr beitragen, wodurch aber auch eher mehr als weniger Verkehr entstehen wird.

Diese Entwicklungen vollziehen sich unabhängig von räumlichen Strukturen – profitieren können aber ländliche Räume ebenso wie Städte und städtische Regionen. Das Leben in ländlichen Räumen kann z.B. erleichtert werden, wenn Versorgungsgpässe in der Medizin oder im Lebensmitteleinzelhandel durch digitale Angebote ausgeglichen werden oder wenn Bildungsangebote trotz Schulstandortkonzentrationen aufrechterhalten werden können. Möglicherweise sind diese Verbesserungen der Lebenssituation im ländlichen Raum aber gleichzeitig auch Treiber für weitere Siedlungsentwicklung dort. Ökonomische Treiber wie geringe Boden- und Baupreise werden voraussichtlich bestehen bleiben und diese Prozesse weiter unterstützen. Wie sich infolge der beschriebenen Trends dagegen zukünftig die Kosten der Mobilität entwickeln werden, ist nicht vorhersehbar. Diese hängen neben den Preisen für die neuen Angebote auch vom Umfang der zukünftigen Mobilität ab (Anzahl von Wegen und Entfernungen), von Antriebsarten, Energie- und Personalkosten sowie von einer Politik, die hierfür Rahmenbedingungen schafft.

Auch die Städte können durch verbesserte Lebensqualität infolge der technologischen Entwicklungen profitieren. Diese könnte u. a. geprägt sein durch mehr Sicherheit im Verkehr, durch möglicherweise tatsächlich weniger individuellen motorisierten Verkehr, der abgelöst wird durch ein vielfältiges Angebot aus Fuß- und Fahrradverkehr, ein breit verfügbares Angebot an öffentlichen Autos wie Taxis, Mietwagen und Carsharing, ein leistungsfähiges und störungsarmes System aus öffentlichen Verkehrsmitteln. Die Digitalisierung ermöglicht hier eine räumliche, zeitliche und tarifliche Vernetzung der Verkehrsmittel und bietet die Voraussetzungen, mit einer einheitlichen Abrechnungsplattform eine über Stadtgrenzen hinausgehende standardisierte und „smarte“ Nutzung öffentlicher und teilöffentlicher Verkehrsmittel zu entwickeln. Aber auch die Entwicklung in den Städten und städtischen Räumen führt nicht

zwangsläufig zu weniger Verkehr, sondern gerade die gute Vernetzung der Systeme untereinander erleichtert auch hier z.B. das Pendeln zu Arbeitsorten oder den Besuch von Freizeiteinrichtungen, die dann eher außerhalb der Zentren oder gar in anderen Zentren entstehen.

Neue Dynamiken

Sowohl für den ländlichen Raum als auch für die Städte muss berücksichtigt werden, dass sich die technologischen Prozesse und Entwicklungen in einer derartigen Geschwindigkeit vollziehen, dass infrastrukturelle, bauliche und organisatorische Veränderungen nicht mithalten können. Das liegt nicht nur an der Langlebigkeit gebauter Strukturen, sondern auch an rechtlichen, finanziellen, akteursbezogenen Rahmenbedingungen und Prozessen. Auch klaffen das Wissen um technologische Entwicklungsmöglichkeiten und deren Umsetzung in planungspraktisches Handeln noch weit auseinander. So konnte z.B. bislang ein deutschlandweit einheitliches Ticketing mit verbundübergreifendem Vertrieb im öffentlichen Verkehr noch nicht entwickelt und umgesetzt werden, geschweige denn die multimodale Verknüpfung mit weiteren Verkehrsmitteln. Die oben beschriebenen Chancen für den ländlichen Raum und für Städte und die vorsichtig formulierte Erwartung, dass zumindest partiell oder auf Quartiersebene motorisierter Verkehr eingespart werden könnte, sind bestenfalls langfristig zu realisieren.

Notwendig wäre dafür eine verkehrs- und raumpolitische Strategie, die sich an Klimaschutz-, Luftreinhalte- und Stadtqualitätszielen orientiert. Eine solche Strategie müsste proaktiv die Chancen der Digitalisierung nutzen, die in der Veränderung des Mobilitätsverhaltens weg von der Alleinnutzung des Autos hin zu mehr Nahmobilität, öffentlichen und geteilten Verkehrsmitteln liegen. Dafür müssten nicht nur die Auswirkungen der Digitalisierung auf das Mobilitätsverhalten weiter untersucht werden, sondern auch auf Flächenverfügbarkeiten und Flächennutzungen, auf die Aufteilung von öffentlichen Räumen, Straßenräumen und auf Verkehrsinfrastrukturen. Welcher Platzbedarf und welche qualitativen Anforderungen an Verkehrsflächen entstehen z.B., wenn automatisierte oder gar autonom fahrende Fahrzeuge durch die Innenstädte fahren? Die vorhandenen raum- und verkehrsplanerischen Instrumente müssten daraufhin überprüft werden, ob sie ausreichen, unerwünschten Entwicklungen entgegenzutreten oder ob sie aufgrund der Wirkungen des technologischen Wandels angepasst werden müssten. Und letztlich muss die Frage beantwortet werden, ob die neuen raumbedeutsamen Akteure wie Google und Co. im Sinne einer nachhaltigen Raumentwicklung in diese Prozesse integriert werden sollen und können.

Neue Planungsherausforderungen

Durch die Digitalisierung wird sich wahrscheinlich eine Neuordnung unterschiedlicher Lebenswelten wie Arbeit, Mobilität, Konsum oder Produktion einstellen; bislang sind jedoch die Raumeffekte, die darauf zurückzuführen wären, kaum feststellbar und damit auch nicht die notwendigen Implikationen für die Gestaltung urbaner Infrastrukturen. Werden sich raumrelevante Prozesse wie Konzentration oder Dekonzentration durch Technologien verändern? Auf jeden Fall ist ein gewisser Anteil an Skepsis weiterhin notwendig, um die Potenziale von neuen Technologien nicht überzubewerten. Datenschutz, Datenmissbrauch und Cyberattacken sowie Ausgrenzung und Monopolbildung sind ebenfalls Kernthemen für die Zukunft.

Dass die zunehmende Automatisierung zu mehr Verkehr führen kann, wie heute bereits bei Lieferverkehren durch den steigenden Online-Handel zu beobachten ist, oder dass Kannibalisierungseffekte der Nahmobilität oder des öffentlichen Verkehrs durch neue Formen wie *ride-pooling* entstehen können, sind mögliche negative räumliche und verkehrliche Auswirkungen, die wissenschaftlich zu untersuchen sind. Wie bei allen Gestaltungsprozessen ist aber auch mit Konflikten zu rechnen, für die Lösungen gefunden werden müssen. Zusammenfassend ist zu erwarten, dass mit der weiteren Durchdringung von Smartphones in der Gesellschaft die beschriebenen Entwicklungen zukünftig zunehmend auch in bislang technikfernere Bevölkerungsgruppen sowie in nichtstädtische Strukturen hineinwirken. Ob und inwieweit sich mit und durch die „Neuen Medien“ neue Mobilitätsstile bestimmter Bevölkerungsgruppen herausbilden, ob diese mit bestimmten Mobilitätskulturen, Wohnorten und Lebensstilen zusammenhängen oder ob sich zukünftige Mobilitätsstile unabhängig von den „Neuen Medien“ entwickeln, weil sie „alle“ treffen und von „allen“ angewendet werden, müssen zukünftige empirische Forschungen zeigen. Eine anwendungsorientierte, interdisziplinäre und transdisziplinäre Forschung, die gerade auch die raum-, stadt- und verkehrsplanerischen Möglichkeiten der Rahmensetzung und Gestaltung des städtischen und ländlichen Raums zum Gegenstand hat, kann helfen, die skizzierten Probleme und potentiellen Konflikte zu lösen.

Literatur

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V (2017): Innovations-Indikator 2017. Schwerpunkt digitale Transformation. München.
- Altenburg, S.; Esser, K.; Wittowsky, D.; Groth, S.; Kienzler, H.; Kurte, J.; van der Vlugt, A. (2018): Verkehrlich-städtebauliche Auswirkungen des Online-Handels. In: Internationales Verkehrswesen 70 (2), 24-27.
- Altenburg, S.; Kienzler, H. P.; Esser, K.; Kurte, J.; Wittowsky, D.; Konrad, K.; Groth, S.; van der Vlugt, L. (2018): Verkehrlich-städtebauliche Auswirkungen des Online-Handels. Endbericht. Bonn
- Ametsreiter, H. (2017): Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends. <https://www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-Pls/2017/02-Februar/Bitkom-Pressekonferenz-Smartphone-Markt-Konjunktur-und-Trends-22-02-2017-Praesentation.pdf> (18.07.2018).
- Ametsreiter, H. (2019): Smartphone-Markt: Konjunktur und Trends. https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-02/Bitkom-Pressekonferenz%20Smartphone-Markt%2020%2002%202019%20Pr%C3%A4sentation_final.pdf (20.02.2019).
- Ball, C.; Francis, J.; Huang, K.-T.; Kadylak, T.; Cotton, S. R.; Rikard, R. V. (2017): The Physical-Digital Divide: Exploring the Social Gap Between Digital Natives and Physical Natives. In: Journal of Applied Gerontology 38 (8), 1-19.
- Beckmann, K. (2020): Automatisierter Verkehr und Einsatz autonomer Fahrzeuge – (mögliche) Folgen für die Raum- und Verkehrsentwicklung. In: Reutter, U.; Holz-Rau, C.; Albrecht, J.; Hülz, M. (Hrsg.): Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels. Hannover, 244-269. = Forschungsberichte der ARL 14.
- Bronnert, K.; Jaekel, M. (2013): Die Digitale Evolution moderner Großstädte. Wiesbaden. Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.) (2018): Mobilitäts Daten Marktplatz. <https://www.mdm-portal.de/impressum/> (12.11.2019).
- Busch, F.; Fiedler, I.; Friedrich, M.; Mandir, E.; Pillat, J.; Schiller, C.; Zimmermann, F.; Riess, S.; Belzner, H.; Koller-Matschke, I.; Snethlage, M.; Winkler, C. (2012): Wirkungen individueller und kollektiver Verkehrsinformationen in Straßennetzen – Teil 2: Analysen und Ergebnisse. In: Straßenverkehrstechnik (11), 719-727.
- Couclelis, H. (2000): From Sustainable Transportation to Sustainable Accessibility: Can We Avoid a New Tragedy of the Commons? In: Janelle, D. G.; Hodge, D. C. (eds.): Advances in Spatial Science. Berlin, 341-356.

- Dangschat, J.** (2020): Gesellschaftlicher Wandel, Raumbezug und Mobilität. In: Reutter, U.; Holz-Rau, C.; Albrecht, J.; Hülz, M. (Hrsg.): Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels. Hannover, 32-75. = Forschungsberichte der ARL 14.
- Dennis, K.; Urry, J.** (2009): *After the car*. Cambridge/Malden.
- DIN – Deutschen Institut für Normung e.V.** (Hrsg.) (2015): Deutsche Normungsroadmap Smart City. <https://www.din.de/blob/631114/a8ed32d4067c50e2334a505d124128a3/smart-cities-roadmap-v1-1-data.pdf> (24.07.2018).
- Ernst & Young GmbH** (2017): *Autonomes Fahren in Deutschland – Ergebnisse einer Befragung von 1.000 Verbrauchern*. Eschborn.
- Hess, T.** (2016): Digitalisierung. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologien-methoden/Informatik--Grundlagen/digitalisierung> (18.07.2018).
- Heß, A.; Polst, S.** (2017): *Mobilität und Digitalisierung: Vier Zukunftsszenarien*. Gütersloh.
- Hessen Mobil** (2018): *Agenda zum Intelligenten Verkehr*. Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement. Wiesbaden. https://mobil.hessen.de/sites/mobil.hessen.de/files/Hessen-Mobil_IVS-Ma%c3%9fnahmen-301018_0.pdf (12.11.2019).
- Holz-Rau, C.; Scheiner, J.** (2020): *Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels – Schlussfolgerungen für Politik, Planungspraxis und Forschung*. In: Reutter, U.; Holz-Rau, C.; Albrecht, J.; Hülz, M. (Hrsg.): *Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels*. Hannover, 380-408. = Forschungsberichte der ARL 14.
- Initiative D21 e.V.** (2018): *D21-Digital-Index 2017/2018. Jährliches Lagebild zur Digitalen Gesellschaft*. https://initiatedv21.de/app/uploads/2018/01/d21-digital-index_2017_2018.pdf (04.07.2019).
- Jahn, M.** (2015): *Wandert die Verkaufsfläche vom POS ins Netz? GfK Prognose zum Verkaufsflächenbedarf der Warengruppen bis 2025*. Bruchsal.
- Kämpf, K.; Keller, H.** (2001): *Wirkungspotenziale der Verkehrstelematik zur Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsmittelnutzung*. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. FE 96.484/1999. Basel.
- Keller, H.; Neuherz, M.** (2002): *Das Projekt Bayerinfo – Projektbewertung*. Technische Universität München, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik. München.
- Kollosche, I.; Schwedes, O.** (2016): *Mobilität im Wandel. Transformationen und Entwicklungen im Personenverkehr*. Bonn. = WISO Diskurs 14/2016.
- Konrad, K.; Wittowsky, D.** (2016): *Digital Natives mobil. Die virtuelle und räumliche Mobilität junger Menschen*. In: *Internationales Verkehrswesen* 68 (1), 56-58.
- Kühne, R.** (2002): *Telematik im Verkehr, regionales Verkehrsmanagement Stuttgart: Das STORM-Projekt, Verkehrswissenschaftliche Bewertung*. Stuttgart. = Schriftenreihe der Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg 7.
- Landeshauptstadt München Kreisverwaltungsreferat** (Hrsg.) (2003): *Abschlussbericht 2003 – 5 Jahre Mobilitätsforschung im Ballungsraum München*. München.
- Lenz, B.** (2011): *Verkehrsrelevante Wechselwirkungen zwischen Mobilitätsverhalten und Nutzung von IuK-Technologien*. In: *Informationen zur Raumentwicklung* (10), 609-618.
- Lenz, B.** (2015): *Vernetzung – Revolution für die urbane Mobilität der Zukunft?* In: *e&i Elektrotechnik und Informationstechnik* 132 (7), 380-383.
- Lyons, G.** (2015): *Transport's digital age transition*. In: *The Journal of Transport and Land Use* 8 (2), 1-9.
- Maier, F.; Grötsch, J.** (2016): *Wie wirkt Verkehrsbeeinflussung? – Vom Nachweis scheinbar kleiner Effekte mit Messdaten*. In: *Straßenverkehrstechnik* (7), 418-423.
- Mokhtarian, P. L.** (2020): *Wenn die Telekommunikation den Verkehr so gut ersetzen kann, warum gibt es dann immer mehr Staus?* In: Reutter, U.; Holz-Rau, C.; Albrecht, J.; Hülz, M. (Hrsg.): *Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels*. Hannover, 167-195. = Forschungsberichte der ARL 14.
- Mokhtarian, P. L.; Salomon, I.; Handy, S. L.** (2006): *The Impacts of ICT on leisure Activities and Travel: A Conceptual Exploration*. In: *Transportation* 33 (3), 263-289.
- Mokhtarian, P. L.; Tal, G.** (2013). *Impacts of Ict on Travel Behavior: A Tapestry of Relationships*. In: Rodrigue, J.-P.; Notteboom, T.; Shaw, J. (eds.): *The Sage Handbook of Transport Studies*. Thousand Oaks, 241-261.
- Monheim, H.** (2015): *Moderne I+K Techniken – eine Chance für die Finanzierung und Steuerung des Verkehrs*. In: *Verkehrszeichen* 31 (2), 26-32.

- Münchner Kreis e.V. (2017): *Mobilität. Erfüllung. System. Zur Zukunft der Mobilität 2025+.* Zukunftsstudie Münchner Kreis Band VII. München.
- Shareground; Deutsche Telekom; Universität St. Gallen (2015): *Arbeit 4.0: Megatrends Digitaler Arbeit der Zukunft – 25 Thesen.*
<https://www.telekom.com/resource/blob/314922/.../dl-150902-studie-st-gallen-data.pdf> (31.07.2018).
- Statistisches Bundesamt (2019): *Ausstattung privater Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnik nach Gebietsständen im Zeitvergleich.*
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-infotechnik-gebietsstaende-lwr.html> (11.09.2019).
- Tully, C.; Alfaraz, C. (2017): *Youth and mobility: The lifestyle of the new generation as an indicator of a multi-local everyday life.* In: *Applied Mobilities* 2 (2), 182-198.
- Winkler, R.; Bschorr, C. (2002): *Verkehrstelematik in Städten.* München.
- Wittowsky, D. (2008): *Dynamische Informationsdienste im ÖPNV – Nutzerakzeptanz und Modellierung.* = Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe (TH) 68/09.
- Zur Nedden, M.; Hollbach-Grömig, B.; Becker, E.; Pätzold, R.; Stumpf, J.; Wotruba, M.; Gutknecht, K. (2017): *Online-Handel – Mögliche räumliche Auswirkungen auf Innenstädte, Stadtteil- und Ortszentren.* Bonn. = BBSR-Online-Publikation 08/2017.

Autorin und Autor

Ulrike Reutter (*1961), *Raumplanerin, Professorin für Öffentliche Verkehrssysteme und Mobilitätsmanagement an der Bergischen Universität Wuppertal (seit 2015), Professorin für das Verkehrswesen und Leiterin des Fachgebietes IMOVE – Institut für Mobilität und Verkehr an der Technischen Universität Kaiserslautern (2011–2015), Leiterin des Forschungsfeldes Mobilität (2008–2011) und wissenschaftliche Mitarbeiterin am ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH, Dortmund (1987–2008).*

Dirk Wittowsky (*1971), *Bauingenieur, Professor für Mobilitäts- und Stadtplanung an der Universität Duisburg-Essen, Leiter der Forschungsgruppe Mobilität und Raum am ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH in Dortmund (2012–2019), Referent für Nachfrageanalysen und -modelle, DB Fernverkehr AG (2007–2011), Projektleiter Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (2005–2011) und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe (TH) (1999–2004).*