

Lütjens, Klaus et al.

Article

Innovationen im Zuge der Digitalisierung des Personenverkehrs

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Lütjens, Klaus et al. (2018) : Innovationen im Zuge der Digitalisierung des Personenverkehrs, Wirtschaftsdienst, ISSN 1613-978X, Springer, Heidelberg, Vol. 98, Iss. 7, pp. 512-518,
<http://dx.doi.org/10.1007/s10273-018-2324-5>

This Version is available at:

<http://hdl.handle.net/10419/213667>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Klaus Lütjens et al.

Innovationen im Zuge der Digitalisierung des Personenverkehrs

Die zunehmende Digitalisierung verändert das Angebot an Verkehrsdienstleistungen auf verschiedenen Ebenen. Die entsprechenden Innovationen sind teilweise inkrementell, teilweise auch radikal. So lässt sich beispielsweise das Fahrtenangebot eines Anbieters im öffentlichen Personennahverkehr vollkommen individualisieren und nach dem Mobilitätsbedarf der Nutzer ausrichten.

Das Verkehrssystem ist ein bedeutender Sektor innerhalb von Volkswirtschaften, sowohl hinsichtlich seines Anteils am Bruttoinlandsprodukt als auch in seiner Rolle als Vorleister, Standortfaktor und Ermöglicher privater und beruflicher Mobilität. Wie andere Industrien unterliegt das Verkehrssystem den Veränderungen technologischer Trends, aktuell insbesondere der Digitalisierung. Mit der Digitalisierung ist auch im Verkehr die Hoffnung auf positive Wirkungen verbunden, was aber nicht zwingend für alle Akteure und

Parameter des Verkehrssystems gelten muss. Besonders relevant ist dabei z. B. die Frage, inwieweit die Digitalisierung auf Verkehrsangebot und -nachfrage einwirkt und damit zu mehr oder weniger Verkehrsbewegungen führt.

Bedeutung des Begriffes der Digitalisierung

Im engeren Sinne bezeichnet Digitalisierung die Überführung von Information von einer analogen in eine digitale Speicherform (digitizing).¹ Im weiteren Sinne wird unter Digitalisierung die Durchführung und Automatisierung von Geschäftsprozessen mit Hilfe von Informationstechnologie verstanden (digitization). Dies enthält Erfassung, Verarbeitung, Ausgabe und Weitergabe von Informationen. Aufgrund oft notwendiger Übertragung von Informationen zwischen deren Erfassung und Verarbeitung ist überdies schon früher der Begriff der Telematik als Verknüpfung von Telekommunikation und Informatik entstanden. Die räumlich verteilte und vernetzte Digitalisierung von Prozessen ist ohne Telematik kaum denkbar. Im Zuge Ihrer umfassenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen wird Digitalisierung zudem mit dem Begriff der digitalen Transformation gleichgesetzt. Darunter sind die Digitalisierung von Wertschöpfungsketten, die Entstehung neuer Märkte und Geschäftsmodelle und insbesondere das Aufkommen digitaler Plattformen zu verstehen.

Zum Begriff der Innovation

Digitalisierung ermöglicht verschiedene Arten von Innovationen, von verhältnismäßig kleinen Verbesserungen in Planungs- und Entscheidungsunterstützungstools bis hin zur Umwälzung von Märkten durch neue Geschäftsmodelle. Innovation bezeichnet zunächst einmal eine Erfindung (Invention), die es geschafft hat, auf einem Markt erfolgreich zu sein. Innovationen lassen sich in Produkt- und Prozess-

Autorinnen und Autoren des Beitrags:

Klaus Lütjens, Dipl.-Volkwirt, ist Abteilungsleiter und **Marius Radde**, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – Institut für Lufttransportsysteme in Hamburg.

Prof. Dr. Gernot Liedtke leitet die Abteilung Wirtschaftsverkehr am DLR Institut für Verkehrsforschung in Berlin.

Dr. Sven Maertens ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am DLR Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr in Köln sowie freiberuflicher Gutachter zum Luft- und Busverkehr.

Thomas Standfuß ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am DLR Institut für Flugführung in Braunschweig.

Benedikt Scheier, M.Sc., ist Projektleiter und **Kathrin Viergutz**, M.Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am DLR Institut für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig.

¹ T. Hess: Digitalisierung, <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologien-methoden/Informatik--Grundlagen/digitalisierung> (5.7.2018).

innovationen unterteilen. Produkte – zu denen auch Dienstleistungen zählen – sind das Ergebnis eines Herstellungsprozesses und versprechen einem Kunden einen Nutzen. Die verbesserte Organisation des Herstellungsprozesses betrifft eine Prozessinnovation, zu der auch neue Investitionsgüter (Maschinen, IT-Software) einen Beitrag leisten können. Verhältnismäßig neu sind die Begriffe der Organisations- und der Geschäftsmodellinnovation. Letztere basieren häufig darauf, dass durch das Internet und andere Digitalisierungstendenzen neue Chancen geschaffen werden, eine latente Nachfrage zu bedienen und Zahlungsbereitschaften abzuschöpfen. Beispiele sind Amazon, eBay oder – im Verkehrssektor – Uber. Deren Geschäftsmodell wird häufig als Plattformmodell² oder zweiseitiger Markt³ bezeichnet. Dies ist zunächst nichts weiter als der klassische Makler, der aus dem Wissen über Kundenwünsche und Angebote Kunden und Anbieter zusammenbringt (Reisebüros, Frachtvermittler, Partnervermittlung, Wohnungsmakler) und der sich von der einen oder anderen Seite entlohnen lässt. Mit der Digitalisierung stehen dem Maklermodell völlig neue Möglichkeiten zur Verfügung: Einfache Kommunikation über Standardschnittstellen und Auswertung von „Big Data“ zur Verbesserung der Vermittlungsdienstleistung. Auch sind die marginalen Kosten sehr gering. Organisations- und Komplexitätskosten behindern kaum das Wachstum der Plattform, wie dies bei klassischen Maklerfirmen der Fall ist. Zudem gibt es keine Transportkosten der Kunden zur Plattform bzw. des Maklers zum Kunden, wodurch ein großer Raum bedient werden kann. Stattdessen treten bei zunehmendem Wachstum der Plattform Vorteile für die Nutzer auf beiden Seiten des Marktes auf, weil die Attraktivität der Plattform durch ein breiteres Angebot bzw. eine größere Kundenzahl steigt. Plattformen haben Maklerfunktionen in neuen Märkten übernommen und zum Teil die klassischen Makler abgelöst.

Hinsichtlich des Innovationsgrades wird zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen unterschieden. Die Wirkung inkrementeller Innovationen ist verhältnismäßig leicht zu beziffern: Durch Produktverbesserung und -verbilligung steigt die Konsumentenrente. Gegebenenfalls entstehen auch Vorteile für die Anbieter, die im Wettbewerb jedoch früher oder später an die Konsumenten weitergegeben werden dürften.

Als radikale Innovationen werden Neuheiten bezeichnet, die sich nicht auf dem inkrementellen Verbesserungspfad hätten erreichen lassen. Radikale Innovationen schaffen typischer-

weise neue Märkte (im Sinne der Befriedigung einer bisher nicht bedienten Nachfrage) und besitzen auch das Potenzial, bisherige Märkte oder Produkte und deren Anbieter zu zerstören. Das ist der Fall, wenn das neue Produkt dem Nutzer vollkommen neue Möglichkeiten bietet, was letztlich auch mit Nutzungsanpassungen und Verhaltensänderungen der Nutzer einhergeht. Radikale Innovationen gehen selten von etablierten Unternehmen aus, weil sie oft einen eingeschwungenen Markt bedrohen (unter anderem auch Kollusionen oder Kartelle), Patente entwerten und Flexibilität der Angestellten und des Managements erfordern.

Wenn inkrementelle Innovationen Produkte verbessern und radikale Innovationen einen Markt verändern, dann können radikale Innovationen eine Sektortransformation zur Folge haben. Diese enthält die Veränderung von Wertschöpfungsprozessen, der Arbeitsteilung zwischen Firmen und der Organisation von Nachschubnetzwerken. Bei Sektortransformationen ist die Wirkung auf Sektorebene zu bilanzieren. Die größte Wirkungsstufe, die eine Innovation erreichen kann, ist die Veränderung der sozio-ökonomischen Paradigmen – also Änderungen der Werte und des Denkens von Individuen und kollektiver Überzeugungen und Entscheidungen. Damit verbunden können auch gesellschaftliche und politische Veränderungen sein, z. B. der Gedanke, in einer Sharing Economy gar nicht mehr alles selber besitzen zu müssen. Die meisten Innovationen sind inkrementell. Die Informationstechnik (IT) dagegen, die in Form des Großcomputers als radikale Innovation begann, dann Sektoren wie die Luftfahrt oder die Produktionsprozesse von Gütern im Allgemeinen beeinflusste, und schließlich ab den 1990er Jahren ein neues sozio-ökonomisches Paradigma schuf, die digitale Gesellschaft, ist ein Beispiel für eine derartige Innovation mit einem hohen Wirkungsgrad. Industrie 4.0 und Mobilität 4.0 sind also bereits die Folge einer früheren radikalen Innovation.

Wirkungsebenen der Digitalisierung im Verkehr

Zur genauen Zuordnung von Innovationen und deren Wirkungen im Verkehr bietet sich ein Vier-Ebenen-Modell von Verkehrssystemen an. Demzufolge kann jeder Verkehrsmodus in vier Ebenen unterteilt werden.

1. Infrastrukturbereitstellung,
2. Verkehrssteuerung und -koordination,
3. Kundennachfrage und Mobilitätsdienstleistungen,
4. Mehrwertdienstleistungen.

Die verkehrliche Leistungsfähigkeit des gesamten Verkehrssystems kann auf Ebene 3 analysiert werden. Die Ebenen 1 und 2 liefern die Hauptinputs. Die Ebene 4 wird immer wichtiger, denn zunehmend refinanzieren sich Mobilitätsanbieter und Makler durch Mehrwertdienstleistungen.

2 O. Mack, P. Veil: Platform Business Models and Internet of Things as Complementary Concepts for Digital Disruptions, in: A. Khare, B. Stewart, R. Schatz (Hrsg.): Phantom Ex Machina, Basel 2017.

3 J.-C. Rochet, J. Tirole: Platform Competition in Two-sided Markets, in: Journal of the European Economic Association, 1. Jg. (2003), H. 4, S. 990-1029.

gen. Zusätzlich kann eine Bewertung der positiven und negativen Externalitäten aufgrund der Aktivitäten in den Ebenen 1 bis 4 erfolgen.

Digitalisierungsgetriebene Innovationen im Luftverkehr

Die wichtigsten Angebotsakteure im Rahmen der Erstellung des Luftverkehrs sind auf der Ebene der Infrastrukturbereitstellung die Flughäfen, auf der Ebene der Verkehrssteuerung und -koordination die Flugsicherungen und auf der Ebene der Kundennachfrage und Mobilitätsdienstleistungen die Fluggesellschaften.

Innovationen bei Infrastrukturbereitstellung

Bei den Flughäfen hat die Digitalisierung dazu beigetragen, Abfertigungsprozesse schneller, fehlerfreier und kostengünstiger zu gestalten und dadurch beispielsweise kürzere Umsteigezeiten zu realisieren (Geschäftsbeziehung zwischen Flughafen, Fluggesellschaft und Bodenverkehrsdienstleister, B2B). Im Endkundenkontakt (B2C) sind neue Möglichkeiten der Passagierinformation und -steuerung, auch im Hinblick auf das Ziel höherer kommerzieller Erlöse im Retailing, entstanden bzw. werden derzeit erprobt. Eine kürzlich veröffentlichte Studie einer Strategieberatung weist allerdings auch auf Risiken für Flughafenbetreiber hin, die durch die Digitalisierung entstehen können: So steigt die Gefahr, dass im Bereich Parkraumbuchung und Zubringertransporte neue, digitale Anbieter in die Reisekette einsteigen können, oder dass zeiteffizientere, gegebenenfalls von Drittanbietern angebotene Von-Tür-zu-Tür-Reiseketten notwendige Sicherheitspuffer und damit die Aufenthaltsdauern an Flughäfen reduzieren und somit Erlöse aus Gastronomie- und Konsumangeboten senken.⁴ Im Bereich der luftseitigen Infrastruktur von Flughäfen können künftig satellitengestützte Präzisionslandesysteme (Ground Based Augmentation Systems, GBAS) die kommerzielle Anfliegbarkeit auch schlecht ausgestatteter Flugplätze verbessern und zudem potenziell bisherige Instrumentenlandesysteme ersetzen. Je nach Ausgestaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen kann möglicherweise sogar von einer radikalen Innovation gesprochen werden.

Innovationen bei Verkehrssteuerung und -koordination

Das primäre Ziel der Flugsicherungen ist die konflikt- und kollisionsfreie Flugführung zwischen Start und Landung.⁵ Zur Vermeidung von sogenannten „Mid-Air-Collisions“

4 Vgl. Roland Berger GmbH: Rise to the challenge, The risks and opportunities of digitization for airports, 2017, www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/think_act_digital_airport.pdf (4.8.2017).

5 Die Flugsicherung ist nicht verantwortlich für den kollisionsfreien Betrieb am Boden.

wird der Verkehr im Streckenflug horizontal und vertikal gestaffelt. Die Bewirtschaftung des Luftraumes ist daher stark gekoppelt an die Verfügbarkeit von Kapazitäten. Steigt die Nachfrage der Luftraumnutzer an, muss zusätzliche Kapazität bereitgestellt werden, ohne dass sicherheitsrelevante Vorfälle⁶ eintreten.

Der sichere Flugablauf stellt hohe Anforderungen an die Präzision technischer Systeme. Ein Fluglotse muss die exakte Position eines Flugzeugs kennen, um fundierte Entscheidungen zu treffen. Die Einführung des Radars ermöglicht die Ortung von Flugzeugen durch passive Reflexion. Dadurch können Abstände zwischen Luftfahrzeugen geschätzt oder der Flugweg anhand mehrerer Positionspunkte auf dem Radarschirm nachvollzogen werden. Eine reine Ortung über das (Primär-)Radar ist jedoch sehr ungenau, da nur die (zweidimensionale) Position bereitgestellt wird. Die Präzision der Ortung änderte sich mit der Entwicklung des Sekundärradars, das Informationen über Flughöhe und Flugzeugkennung von einem Transponder an Bord des Flugzeuges abrufft.

Durch die Kopplung von Primär- und Sekundärradar sowie deren technischen Weiterentwicklung wurde die Präzision der Ortung der Luftfahrzeuge sukzessive erhöht. Des Weiteren wird die Ortungsgenauigkeit durch satellitengestützte Systeme (z. B. Global Positioning System – GPS) vergrößert. Dadurch konnten beispielsweise sicherheitsrelevante Puffer reduziert werden, unter anderem die vertikale Staffelung (Reduced Vertical Separation Minimum – RVSM)⁷ von 2000 ft auf 1000 ft. Dies ist eine signifikante Kapazitätserweiterung, da diese Flughöhen primär von kommerziellen Flügen für den Streckenflug nachgefragt werden.

Heute unterstützt die Digitalisierung im Luftverkehrsmanagement die Informationsverarbeitung und den Datenaustausch. So können Änderungen in der Verkehrsnachfrage oder im Flugverlauf (Trajektorie) durch den Einsatz vernetzter und organisationsübergreifend interagierender Tools geplant, durchgeführt, koordiniert und kommuniziert werden. Diese Systeme können zudem potenzielle Konflikte, auch bei Änderungen des Flugwegs, frühzeitig erkennen.

Einen Engpass im System Luftverkehr bilden hoch frequentierte Flughäfen wie London Heathrow. Hier kommen für die Durchführung eines effizienten Flugablaufes Systeme wie der Arrival Manager (AMAN) zum Einsatz. Die Basis bilden Informationen über die Flug-Trajektorien, basierend auf aktuellen Wetterdaten, den Performance-

6 Beispielsweise Staffelungsunterschreitungen.

7 Vgl. International Civil Aviation Organization (ICAO): Appendix G to Part 91 – Operations in Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM) Airspace.

werten anfliegender Luftfahrzeuge, den Flugplaninformationen, den Radardaten sowie den aktuellen Umweltbedingungen. AMAN unterstützt den Lotsen bei der Anflugreihenfolge und der Allokation der Luftfahrzeuge auf die verfügbaren Landebahnen. Analog ermöglicht der Departure Manager (DMAN) eine Optimierung der Abflüge.

Innovationen bei Kundennachfrage und Mobilitätsdienstleistungen

Digitale Vertriebsmöglichkeiten erlauben es den Fluggesellschaften, den Direktvertrieb zu stärken und damit die Abhängigkeit von den sogenannten Global Distribution Systems (GDS) wie Amadeus und Sabre zu senken. Zudem ermöglichen digitale Vertriebswege den Luftverkehrsgesellschaften die Umsetzung einer viel tiefergehenden Preis- und Produktdifferenzierung (Mass Customization) sowie neuer personalisierter Kommunikationswege. Weiterhin kommt unabhängigen Online-Vertriebsplattformen, die vermittelnd zwischen Fluggesellschaften und Passagieren auftreten, eine wachsende Bedeutung zu. Diese Online Ticket Retailer (OTR) lassen sich zwei Kategorien zuordnen:

1. OTR verkaufen Sitzplätze bzw. Tickets der Fluggesellschaften an private Internetnutzer und erhalten dafür eine Provision der Fluggesellschaft.
2. OTR verwenden „web scraping“-Technologien, mit denen sowohl Angebote der Airline-Webseiten als auch Angebote der OTR aus Kategorie 1 verglichen und dem Nutzer zur Auswahl angeboten werden. Ihre Provision erhalten diese entweder durch die Fluggesellschaft oder den OTR, dessen Angebot ausgewählt wurde.

Beide Kategorien weisen Netzwerkeffekte auf, da die Informationslage der Kunden durch die direkte Vergleichsmöglichkeit verschiedener Angebote erheblich verbessert wird. Gleichzeitig erreichen die partizipierenden Fluggesellschaften zusätzliche potenzielle Kunden.⁸

Ein Nachteil für die Kunden ergibt sich durch Intransparenz und Manipulierbarkeit von Suchergebnissen, denn aus Kundensicht schlechte Angebote können priorisiert angezeigt werden, wenn der OTR damit mehr Gewinn realisieren kann. Aus Sicht der Fluggesellschaften besteht die Gefahr, zu viel Umsatz über OTR zu generieren und somit in eine Abhängigkeit zu geraten. Der Verlust des Zugangs zu großen OTR-Plattformen kann ernste finanzielle Folgen für Fluggesellschaften haben:⁹ Ein Streit mit großen OTR

8 P. Belobaba, A. Odoni, C. Barnhart: The Global Airline Industry, Chichester UK 2016.

9 V. Bilotkach, N. Rupp, P. Vivek: Value of a Platform to a Seller: Case of American Airlines and Online Travel Agencies, NET Institute Working Paper, Nr. 13-08, 2013.

brachte American Airlines 2011 vorübergehend Umsatzeinbußen von rund 50 Mio. US-\$ ein. Zudem konzentrieren sich OTR auf den Ticketpreis als zentrales Bewertungskriterium für die angebotene Dienstleistung, wodurch Fluggesellschaften gezwungen werden, besonders günstige, nicht aber qualitativ hochwertige Produkte anzubieten.

OTR können als inkrementelle Innovation der seit Jahrzehnten verwendeten, globalen Airline-Distributionssysteme angesehen werden, deren Nutzung – mit dem OTR als digitalem Substitut für das traditionelle Reisebüro – dem privaten Nutzer nun in weitaus direkterer Weise offensteht. Durch diese teilweise Substituierung der klassischen Reiseagenturen hat jedoch keine wesentliche Veränderung des Wertschöpfungsprozesses stattgefunden: die zwischen Vermittlern, Nachfragern und Anbietern etablierten Dienstleistungs- und Zahlungsströme haben sich qualitativ nicht verändert. Die Entwicklung von OTR genügt damit der Definition der inkrementellen Innovation, die sich nicht sektortransformierend oder durch die Änderung von sozio-ökonomischen Paradigmen auswirkt.

Innovationen bei Mehrwertdienstleistungen

Den Fluggesellschaften vereinfachen digitale Vertriebsmöglichkeiten die Verknüpfung des Transportangebotes mit Mehrwertdienstleistungen, etwa durch die Möglichkeit individualisierten Upsellings. OTR agieren ebenfalls auf der vierten Ebene der Mehrwertdienste. Über die reine Mobilitätsdienstleistung hinausgehende Angebote wie beispielsweise eine Reiserücktrittsversicherung sind in der Regel buchbar. Auf diese Weise sichern sich die OTR nicht nur Provisionsgebühren der Fluggesellschaft, sondern auch die der Versicherungsgesellschaft und erhöhen damit ihren Ertrag. Im Umkehrschluss bedeutet das Umsatzeinbußen für Fluggesellschaften, die die Vermittlung einer Versicherung bei direkter Buchung über die eigene Webseite im Normalfall selbst organisieren.

Innovationen nach Innovationsgrad und Wirkungsebenen im Luftverkehr

Die meisten der zusammenfassend in Tabelle 1 aufgeführten Innovationen sind inkrementell. Digital getriebene radikalere Innovationen für den Luftverkehr sind aber vorstellbar. So geht UBER davon aus, dass in nicht allzu ferner Zukunft autonom fliegendes Fluggerät (Air Taxis) Passagieren enorme Zeitgewinne durch On-Demand-Flüge in lokalen Märkten, etwa in Megacities, beschert werden.¹⁰ Zudem könnten internetbasierte Plattformen die Luftverkehrsnachfrage in ein passgenaues Angebot überführen,

10 Vgl. UBER Elevate: Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation, 2016.

Tabelle 1

Exemplarische digitalisierungsgetriebene Innovationen im Luftverkehr

Wirkungsebene	Inkrementelle Innovationen	Radikale Innovationen
Infrastrukturbereitstellung	Digitales Datenmanagement (B2C, B2B), bessere Passagierführung durch den Flughafen	Satellitengestützte Präzisionslandesysteme (GBAS)
Verkehrssteuerung und -koordination	Reduziertes vertikales Staffellings-Minimum (RVSM), An- und Abflugmanagementsysteme (AMAN/DMAN)	Einheitlicher Europäischer Luftraum (SES) und gemeinsames Datenmanagement (SWIM)
Kundennachfrage und Mobilitätsdienstleistungen	Online Ticket Retailer (OTR), Internet-Direktvertrieb, Preis- und Produktdifferenzierung (Mass customization)	White Label Flying, autonomes Fliegen in City- und Regionalmärkten (Air Taxis)
Mehrwertdienstleistungen	Personalisierter Verkauf von Zusatzleistungen (Upselling)	

Quelle: eigene Darstellung.

damit Teile der bisher von Fluggesellschaften erzielten Wertschöpfung übernehmen und diese zu Auftragsfliegern degradieren (White Label Flying).

Digitalisierung im bodengebundenen öffentlichen Personenverkehr

Entwicklung zum bedarfsorientierten Transport

Ein großer Nachteil öffentlicher Verkehrsangebote im Vergleich zum Individualverkehr ist ihre fehlende bzw. eingeschränkte Flexibilität. Durch Digitalisierung entstehen neue Möglichkeiten der Harmonisierung von Verkehrsangebot und -nachfrage.¹¹ Dadurch werden öffentliche Verkehrssysteme in die Lage versetzt, zeitlich und räumlich korrespondierende Fahrtwünsche unterschiedlicher Fahrgäste mithilfe eines Matchingalgorithmus zu bündeln, sodass eine dynamische Route entsteht. Dieser Einsatz echtzeitbasierter Informations- und Kommunikationstechnologie unterscheidet Ride-Pooling-Plattformen wie Uberpool, Sidecar, GRAB oder Lyft Line und Ride-Pooling-Anbieter wie MOIA, BerlKönig und CleverShuttle von konventionellen Verkehrssystemen.¹² Neben dem Matching entsteht durch Digitalisierung die Möglichkeit, die Ortungsinformation öffentlicher Verkehrsmittel zu verfolgen, sodass sowohl für Betreiber als auch für Fahrgäste jederzeit die aktuelle Betriebslage ersichtlich ist. Diese Informationen können Nutzern echtzeitbasiert zur Verfügung gestellt werden. Dadurch entsteht ein dynamisches System, in dem Nutzer selbst aktiv die Fahrt veranlassen und direkt mit dem Hintergrundsystem kommunizieren, ohne dass der Einbezug einer übertragenden Stelle notwendig ist. Der Begriff Demand Responsive Transport (DRT) beschreibt diese intelligenten Verkehrssysteme, die

dynamisch auf spezifische und spontane Fahrtwünsche von Fahrgästen reagieren (vgl. Tabelle 2).

Der sogenannte intermodale Nutzer kombiniert die verfügbaren Transportmöglichkeiten entsprechend seiner aktuellen Anforderungen. Denn die Nachfrage nach Flexibilität und Individualisierung der Mobilität wächst.¹³ Vor allem in ländlichen Regionen ist bedarfsorientierter Nahverkehr etabliert.¹⁴ Die sogenannten Rufbusse werden dort eingesetzt, wo aufgrund schwacher Nachfrage die Einrichtung eines regelmäßigen fahrplanbasierten Linienverkehrs nicht sinnvoll ist. Diese responsiven Verkehrssysteme reagieren dynamisch auf aktuelle Fahrtwünsche.¹⁵ Die notwendige Vorbuchungszeit, also der Zeitraum, der zwischen der Äußerung des Fahrtwunsches und dem Beginn der Fahrt liegt, kann dabei eine bis mehrere Stunden betragen.¹⁶ DRT unterscheidet sich von diesen Rufbusssystemen dadurch, dass sie einen deutlich höheren Spontanitätsgrad besitzen. Autonome Fahrzeuge, wie beispielsweise Robotaxis, bieten durch geringere Lebenszykluskosten¹⁷ die Chance, das Angebot zu erhöhen, sodass Fahrten mit DRT im Idealfall ad hoc bereitgestellt werden. Durch Algorithmen basiertes Matching von Fahrtwünschen unterschiedlicher Nutzer, die zeitlich und räumlich harmonisieren, entstehen individuelle Routen. Diese Beschleunigung bedarfsorientierter Bedienkonzepte wird durch Digitalisierung ermöglicht und stellt eine neue Herausforderung für die Verkehrs- und Mobilitätsforschung dar. Zu klären ist unter anderem der für die Nutzer maximal zumutbare Umweg, der durch die zusätzliche Beförderung anderer

11 J. Haucap: Ökonomie des Teilens – nachhaltig und innovativ? Die Chancen der Sharing Economy und ihre möglichen Risiken und Nebenwirkungen, DICE Ordnungspolitische Perspektiven, Nr. 69, 2015.
 12 L. Rayle, D. Dai, N. Chan, R. Cervero, S. Shaheen: Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco, in: Transport Policy, 45. Jg. (2016), S. 168-178.

13 M. Winterhoff, C. Kahner, C. Ulrich, P. Syler, E. Wenzel: Zukunft der Mobilität 2020 – Die Automobilindustrie im Umbruch?, 2009.
 14 A. König, K. Viergutz: Der Fahrschein für den Anrufbus: Tarifgestaltung von bedarfsgesteuerten Bedienformen des öffentlichen Verkehrs im ländlichen Raum, in: Der Nahverkehr, Bd. 35, Nr. 6-2017, S. 11-15.
 15 C. Mulley, J. Nelson: Flexible transport services: A new market opportunity for public transport, in: Research in Transportation Economics, 25. Jg. (2009), H. 1, S. 39-45.
 16 W. Reinhardt: Öffentlicher Personennahverkehr: Technik – rechtliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen, Wiesbaden 2012, S. 584 ff.
 17 P. M. Bösch, F. Becker, H. Becker, K.W. Axhausen: Cost-based analysis of autonomous mobility service, in: Transport Policy, 64. Jg. (2018), S. 76-91.

Tabelle 2
Demand Responsive Transport (DRT)

Eigenschaften	
Flexibel	Keine Fahrpläne, Linienwege, festen Haltestellen
Responsiv	Nachfrageorientiert, individuell abrufbar
Haustürbedienung	Kurze Zugangs- und Abgangswege
Ad hoc	Kurze Vorbestellungsfristen, hoher Spontaneitätsgrad
Shared	Geteilte Fahrten mit anderen Fahrgästen
Gebündelt	Fahrtwünsche mit passenden Quelle-Ziel-Verbindungen werden zu Touren kombiniert

Quelle: eigene Darstellung.

Fahrgäste beim Matching entsteht. Auch auf der Schiene sind DRT-Systeme, trotz geringerer Streckenlänge des Netzes als im Straßenverkehr, vorstellbar und Gegenstand der Forschung.¹⁸ Kleine Schienenfahrzeugeinheiten sollen sich vollautomatisch und flexibel im Netz bewegen können. Bei größerer Nachfrage kann durch mehrere Einheiten ein Zugverband gebildet werden.

Auswirkungen auf den Taxibetrieb

Ein weiterer denkbarer Anwendungsfall dieser Matching-Fähigkeit ist die Bündelung der Fahrtwünsche von Nutzern von Taxisystemen. Die Firma Bandwagon Inc. ermöglicht es Taxifahrgästen an ausgewählten Zustiegspunkten in New York, z. B. an den Flughäfen JFK und LaGuardia, sich mit anderen Fahrgästen mit ähnlichen Fahrtwünschen für eine gemeinsame Taxifahrt zum Ziel zusammenzuschließen. Diese gebündelten Taxifahrten erleben in den letzten Jahren einen Aufschwung. In San Francisco lag die Zahl der gebündelten Taxifahrten im Herbst 2014 rund doppelt so hoch wie jene von Einzeltaxifahrten, deren Zahl sich zwischen 2012 und 2014 etwa halbierte.¹⁹

Eine Analyse von Rayle et al.²⁰ stellt Vor- und Nachteile des Taxi-Sharings gegenüber. Aus dem Sharing resultieren für Fahrgäste die Vorteile, dass die Fahrtkosten gegenüber Einzelfahrten geringer sein könnten. Geteilte Fahrten können das Verkehrsaufkommen insbesondere während der Hauptverkehrszeiten verringern, sodass nachhaltig mehr Lebensqualität entsteht. Andererseits bieten geteilte Fahr-

ten mit fremden Personen den Nutzern ein geringeres Maß an Privatsphäre und Sicherheit. Eine Studie aus dem Jahr 2017 ergab,²¹ dass die Studienteilnehmer dem Taxi-Sharing grundsätzlich wohlwollend gegenüberstehen. Diese würden auch einen kurzen Umweg für andere Fahrgäste in Kauf nehmen, solange sich dies reduzierend auf den Fahrpreis auswirke.

Innovationsgrad und Wirkungsebenen von DRT

Beim Konzept des DRT handelt es sich um ein intelligentes System, das sich durch den lernenden Algorithmus ständig weiterentwickelt. Die durch die fortschreitende Digitalisierung ermöglichte Fähigkeit des Matchings und Sharings stellt eine inkrementelle Innovation dar, die sich schrittweise ändert und agil auf veränderte Anforderungen an diese Verkehrssysteme reagiert. Bei der Bewertung des Innovationsgrades von DRT fällt auf, dass die Innovation betrachteter Angebote weniger in der Weiterentwicklung physischer – infrastruktureller, technischer – Anlagen besteht, als vielmehr in der Schaffung neuer Anwendungsfälle für bestehende Anlagen. So finden konventionelle Verkehrswege und Fahrzeuge weiterhin Anwendung, werden in ihrer Funktionalität jedoch durch die Vernetzung von Entitäten mithilfe digitaler Mittel ergänzt. Ein höherer Grad an Innovation wird bei Betrachtung der Anwendbarkeit dieser neuartigen Mobilitätsangebote deutlich. Für Nutzer des Systems resultieren aus der Flexibilisierung des Nahverkehrs (Haustürbedienung, zeitliche Flexibilität) deutliche Qualitätsverbesserungen gegenüber konventionellen Angeboten, sodass hier durchaus von einer radikalen Innovation gesprochen werden kann. Somit ist der Innovationsgrad je nach Betrachtungsperspektive unterschiedlich zu bewerten (vgl. Tabelle 3).

Auch bei der Bewertung der Quality of Service öffentlicher Verkehrssysteme fällt DRT eine besondere Rolle zu. So tragen die betrachteten Mobilitätskonzepte zur Individualisierung der Mobilität und der Verbesserung der Feinerschließung bei und bieten somit ein Verkehrsangebot, das über eine reine Daseinsvorsorge hinausgeht und eine höhere Dienstleistungsqualität im Sinne einer Mobility as a Service bietet.²² DRT-Systeme, die aufgrund ihrer Merkmale der Haustürbedienung eine besonders starke zeitliche wie räumliche Dynamik besitzen, können dem höchsten Level of Service nach Proença zugeordnet werden.²³

18 Siemens: Projekt Zu(g)kunft, 14.9.2016, <https://www.siemens.com/customer-magazine/de/home/mobilitaet/innotrans/projekt-zugkunft.html> (1.11.2017); M. Meyer zu Hörste: Aspekte der Migration zur Voll-Automatisierung des Bahnbetriebs, in: Signal+Draht, 109. Jg. (2017), H. 7+8, S. 29-33.

19 San Francisco Municipal Transportation Agency: Travel Decisions Survey 2014, Summary Report, <https://www.sfmta.com/reports/travel-decision-survey-2014> (6.7.2018)

20 L. Rayle, D. Dai, N. Chan, R. Cervero, S. Shaheen: Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco, in: Transport Policy, 45. Jg. (2016), S. 168-178.

21 K. Viergutz, F. Brinkmann: Demand analysis and willingness to use of passengers of flexible public mobility concepts, European Transport Conference 2017, Barcelona 2017.

22 A. Brandies, K. Viergutz, A. König, L. Gebhardt: Quartiersbussystem im Reallabor Schorndorf, 8. Tagung Mobilitätsmanagement von Morgen, Berlin 2017.

23 F. Proença: Bus on Demand, Instituto Superior Técnico, Taguspark, 2010.

Tabelle 3

Einordnung der Innovationen im Kontext von Demand Responsive Transport (DRT)¹

Wirkungsebene	Inkrementelle Innovationen	Radikale Innovationen
Infrastrukturbereitstellung	Dynamischer Fahrtverlauf auf vorhandenen Verkehrswegen; Nutzung von echtzeit- und ortsbasierten Daten von Nutzern und Fahrzeugen.	Verzicht auf feste Haltestellen, ermöglicht flexiblen Zustiegs- bzw. Ausstiegsort.
Verkehrssteuerung und -Koordination	Dynamisches Ad-hoc-Matching und -Routing, um Nachfrage zeitnah zu befriedigen.	
Kundennachfrage und Mobilitätsdienstleistungen	Von Daseinsvorsorge zur Mobilität als Service mit höherem Erfüllungsgrad im Sinne der Servicequalität im ÖPNV (EN13816), Verbesserung der Verfügbarkeit, Zugänglichkeit und Reisezeit.	Keine zwingende Ausrichtung der Fahrtwünsche an vorhandenem Fahrtenangebot, System richtet sich nach Mobilitätsbedarf der Nutzer.

¹ Ohne Ebene der Mehrwertdienstleistungen.

Quelle: eigene Darstellung.

Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Die Digitalisierung umfasst die Konvertierung von Informationen, die Automatisierung von Geschäftsprozessen, die Transformation von Sektoren und die Änderung von gesellschaftlichen Paradigmen. Für den Luftverkehr und den bodengebundenen Verkehr lassen sich digitalisierungsgetriebene Innovationen im Rahmen einer Struktur aus Innovationsgrad und Wirkungsebene einordnen. Die Digitalisierung selbst ist dabei Folge der ursprünglichen radikalen Innovation „Informationstechnologie“ und zeichnet sich nun durch ihren Einfluss auf allen Ebenen des Verkehrssystems aus. Dadurch werden für Politik, Verkehrswirtschaft und Forschung sowohl Fragen nach den Wirkungen dieser Entwicklung als auch zu dessen Ermöglichung und Regulierung aufgeworfen. Folgende Themenkomplexe sind zu nennen:

- Regulatorische Grundlagen und technische Systeme müssen weiter harmonisiert werden, um das Digitalisierungspotenzial grenzüberschreitend voll zu erschließen, z.B. im Rahmen des einheitlichen europäischen Luftraums.
- Der regulatorische Rahmen muss so weiterentwickelt werden, dass Netzwerkeffekte von Plattformökonomien im Verkehr nutzbar gemacht, aber marktbeherrschende Stellungen vermieden werden.
- Es können Konflikte zwischen Daseinsvorsorge und Gewinnerzielungsabsichten privater Anbieter auftreten.

- ten. Ein Marktversagen mit Vernachlässigung der Daseinsvorsorge, wenn die Anbieter digitaler Dienstleistungen nur „Rosinen picken“, muss vermieden werden.
- Bestehende Anbieter von öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV) sollten in der Nutzung der Digitalisierung gestärkt werden, unter anderem durch die regulatorische Ermöglichung von Bedarfsverkehren sowie in der Fähigkeit zur Schätzung von Zahlungsbereitschaften und dem Management von Reiseketten für personalisierte, multimodale Mobilitätsdienstleistungen.
 - Die Wirkung digitalisierungsgetriebener Konzepte wie Sharing und Bedarfstransporte auf Verkehrsvolumen und Emissionen muss genau beobachtet werden, um diesbezüglich vorteilhafte Innovationen besonders zu fördern.
 - Ein soziales Gefälle zwischen Nutzern und Nicht-Nutzern digitaler Verkehrsangebote, z. B. wenn ÖPNV nur per Smartphone angefordert werden könnte, sollte vermieden werden.
 - Dateneigentum und -nutzung der Verkehrsteilnehmer sind adäquat zu regeln, Datenmissbrauch ist zu verhindern.

Unter Beachtung dieser Aspekte bietet die Digitalisierung des Verkehrs die Chance auf eine zunehmend bedarfsgerechte Mobilität, eine verbesserte Planung für Anbieter und Passagiere und die Verbesserung des Verkehrsflusses unter Begrenzung ungewollter Nebenwirkungen.

Title: Innovations as Part of the Digitalisation of Passenger Transport System

Abstract: *The transport system is an important sector in economies, both in terms of its own share of gross national product and in its role as a presupplier, prime location and facilitator of private and occupational mobility. Like other industries, the transport system is subject to changes in technological trends, especially with regards to digitalisation. When analysing the forms and effects of digitalisation, one may be overwhelmed by the multitude of terms, such as: Industry 4.0, Physical Internet, Internet of Things, Radical Innovation, New Business Models and Digital Transformation. These terms are often interpreted in different ways because they have been specifically designed for agenda setting and thus for the enforcement of the individual interests of consultants, researchers and industries. And while transport has high hopes for digitalisation, it doesn't necessarily apply to all parameters of the transport system. There are several relevant issues to consider including the extent to which digitalisation affects the traffic supply and demand and whether this will lead to an increase or decrease in traffic movements.*

JEL Classification: L9, O3, R4