

Günter Knieps

Finanzierung von intelligenten Verkehrssystemen

Das Ziel, einen vernetzten digitalen Binnenmarkt innerhalb der EU zu schaffen, betrifft nicht nur die Telekommunikations- und Internetmärkte. Fortschritte von Informations- und Kommunikationstechnologien führen auch zu einem grundlegenden Wandel in anderen Netzsektoren. Das Internet der Dinge gewinnt zunehmend an Bedeutung. Wichtige Beispiele finden sich in der Organisation von Microgrids, vernetztem/autonomen Fahren, Low Power Networks für intelligente Städte, energieeffizienten Gebäuden, Maschine-zu-Maschine-Vernetzungen in der Landwirtschaft und vielen neuen digitalen Anwendungen in der Verkehrslogistik.¹

Das Internet der Dinge schafft neue Anforderungen für die Datenübertragung. Echtzeitübertragung sowie eine räumlich differenzierte Datenerhebung gewinnen zunehmend an Bedeutung. Zudem findet ein Wandel von der traditionellen Sender-Empfänger-Perspektive einer Datenpaketübertragung, die auf dem Transmission Control Protocol (TCP) bzw. dem Internetprotokoll (IP) basiert, hin zu Inhaltsrelevanz (z.B. Cloud Computing) und dynamischen Veränderungen des Gerätezustands statt. Diese Anforderungen können im herkömmlichen TCP-/IP-Internet, bei dem alle Datenpakete gleich behandelt werden, nicht erfüllt werden. Zukünftige Herausforderungen für die Datenpaketübertragung sind der Übergang vom Best-Effort-Internet zur All-IP-Infrastruktur mit einer Hierarchie von Qualitätsklassen mit deterministischen und stochastischen Qualitätsgarantien.²

- 1 OECD: Machine-to-Machine Communications: Connecting Billions of Devices, OECD Digital Economy Papers, Nr. 192, 30.1.2012, <http://dx.doi.org/10.1787/5k9gsh2gp043-en>; OECD: Building Blocks for Smart Networks, OECD Digital Economy Papers, Nr. 215, 17.1.2013, <http://dx.doi.org/10.1787/5k4dkhvnz35-en>; OECD: 'The App Economy', OECD Digital Economy Papers, Nr. 230, 16.12.2013, <http://dx.doi.org/10.1787/5k3ttftlv95k-en>.
- 2 G. Knieps: Entrepreneurial traffic management and the Internet Engineering Task Force, in: Journal of Competition Law & Economics, 11. Jg. (2015), H. 3, S. 727-745; G. Knieps, V. Stocker: Price and QoS Differentiation in all-IP Networks, in: International Journal of Management and Network Economics, 3. Jg. (2016), H. 4, S. 317-335.

Zusätzlich zu diesen Anforderungen an die Intelligenz der Netzarchitektur im All-IP-Internet stellen sich aufgrund der zunehmenden Bedeutung von räumlich differenzierten Echtzeit-Verkehrsdaten auch wichtige Herausforderungen aus Sicht des Datenschutzes (E-Privacy) und der Netz- und Informationssicherheit (Cybersecurity). Im Dezember 2015 sind wesentliche Reformen des Datenschutzrechts vom Europäischen Parlament und Rat innerhalb der E-Privacy-Direktive beschlossen worden, die die Datenschutzrichtlinie aus dem Jahr 1995 ablöst. Ziel ist unter anderem der einfachere Zugang zu den eigenen persönlichen Daten, das Recht auf Datenübertragbarkeit, das Recht zu erfahren, ob Daten gehackt wurden etc.³

Im August 2013 wurde zudem eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Maßnahmen zur Gewährleistung einer hohen gemeinsamen Netz- und Informationssicherheit in der Europäischen Union verabschiedet. Im Fokus stehen „kritische Infrastrukturen“, deren Störung oder Zerstörung durch gezielte Cyberangriffe mit Schadsoftware erhebliche grenzüberschreitende Auswirkungen hätten. Zu den kritischen Infrastrukturen zählen nicht nur Telekommunikation und Internet, sondern auch Infrastrukturen in Energie- und Verkehrsnetzen. Falls Internet-Service-Provider Datenübertragungsdienste in kritischen Sektoren bereitstellen, gelten durchgängig besondere Sicherheitsregeln. Aus der Perspektive der europäischen Verkehrspolitik stellt sich die Frage, inwieweit zusätzliche sektorspezifische Regelungen im Verkehrssektor erforderlich sind, um die spezifischen Anforderungen an Daten- und Netzsicherheit zu erfüllen.⁴

In jüngster Zeit hat sich im Verkehrssektor das Schlagwort „intelligente Verkehrssysteme“ innerhalb der EU herauskristallisiert: „Intelligente Verkehrssysteme (IVS) sind hochentwickelte Anwendungen, die – ohne Intelligenz an sich zu beinhalten – darauf abzielen, innovative Dienste im Bereich verschiedener Verkehrsträger und des Verkehrsmanagements anzubieten, und die verschiedenen Nutzer mit umfassenderen Informationen zu versorgen und sie in die Lage

- 3 Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung), Abl. L119/1 vom 4.5.2016.
- 4 Directive 2013/40/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 on attacks against information systems and replacing Council Framework Decision 2005/222/JHA, OJ L 218/8, 14.8.2013.

Prof. Dr. Günter Knieps ist Direktor der Abteilung für Netzökonomie, Wettbewerbsökonomie und Verkehrswissenschaft des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

zu versetzen, die Verkehrsnetze auf sicherere, koordiniertere und ‚klügere‘ Weise zu nutzen.⁴⁵

Es ist zu erwarten, dass der zunehmende Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) die traditionelle physische Beförderung von Personen und Gütern revolutionieren wird. Die Potenziale einer Kombination von IKT mit Logistikkonzepten im Verkehrsbereich werden durchgängig sowohl im Bereich der Transportmärkte als auch der Verkehrsinfrastrukturen vielfältige Anwendungen finden, wobei sowohl intramodale als auch intermodale Koordinationspotenziale von Bedeutung sind. Beispiele für innovative IKT-basierte Anwendungsfelder im Personenverkehr sind Rufbus, Carsharing, App-basiertes Bestellen, Routenwahl und Bezahlen von Taxifahrten vermittelt über konkurrierende elektronische Plattformen. Zur Förderung der Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Nahverkehrsanbietern werden inzwischen auch landesweite E-Ticket-Konzepte für Bus und Bahn entwickelt. Aber auch im Bereich vernetzten und autonomen Fahrens sind IKT-basierte Innovationen zu beobachten, die sowohl Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation als auch Fahrzeug-Infrastruktur- und Infrastruktur-Infrastruktur-Kommunikation beinhalten.⁶

Charakter von Informations- und Kommunikationstechnologien als Vielzwecktechnologien

In jüngster Zeit wird innerhalb der EU vermehrt die Bedeutung von öffentlichen Investitionen im digitalen Binnenmarkt betont.⁷ Dabei sollen einerseits das Wachstum IKT-basierter privater oder öffentlicher Dienstleistungen wie E-Health, E-Government, E-Culture und andererseits verbleibende Investitionslücken beim Aufbau von Hochgeschwindigkeits-Breitbandnetzen durch Mittel des Europäischen Struktur- und Investitionsfonds gefördert werden. Im Folgenden soll daher auf die Frage näher eingegangen werden, wie staatliche Subventionen im Kontext von Informations- und Kommunikationstechnologien aus volkswirtschaftlicher Sicht zu beurteilen sind.

- 5 Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7.7.2010 zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern, ABl. L207/1, 6.8.2010, Erwägungsgrund (3).
- 6 Für Fallstudien zu intelligenten Netzen in der App-Ökonomie wie adaptive Verkehrssteuerung, automatisiertes Fahren im Busnahverkehr, flexible Mobilität und intermodale Vernetzung vgl. 49. Freiburger Verkehrsseminar: Intelligente Verkehrs- und Energienetze: Potenziale und Risiken, Tagungsbände der Gesellschaft für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik an der Universität Freiburg, 15.-16.9.2016, https://portal.uni-freiburg.de/vw/publikationen/publikat_vsseminar.
- 7 Europäische Kommission: Strategie für einen digitalen Binnenmarkt für Europa, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Brüssel, 6.5.2015, S. 21 f.; European Commission: Staff Working Document, A Digital Single Market Strategy for Europe – Analysis and Evidence, Brüssel, 6.5.2015, SWD (2015) 100 final, S. 85-93.

In der endogenen Wachstumstheorie wurde das Konzept einer Vielzwecktechnologie (General-Purpose-Technologie – GPT) zur Charakterisierung von Technologien entwickelt, die in allen Lebensbereichen einsetzbar sind, die entwicklungsfähig sind und die Innovationen in vielfältigen Anwendungsfeldern begünstigen. Da Innovationen einer GPT komplementäre Innovationen in den Anwendungsfeldern begünstigen, handelt es sich um vertikale Externalitäten zwischen einer GPT und jedem Anwendungsbereich. Aufgrund dieser innovativen Komplementarität zu vielfältigen Anwendungsfeldern (innovational complementarities) wird für die GPT eine mögliche Rechtfertigung für staatliche Subventionen hergeleitet, da der Anbieter einer GPT die vertikalen Externalitäten nicht internalisieren kann.⁸ Während Wasserkraft und Elektrizität klassische Formen von Vielzwecktechnologien darstellen, wird inzwischen die Halbleitertechnologie ebenfalls als GPT angesehen. Die wesentlichen Treiber der Innovationen der Informations- und Kommunikationstechnologien basieren, aufbauend auf der Halbleitertechnologie, auf Fortschritten in der Mikroprozessortechnologie und einer damit einhergehenden rapiden Zunahme der Rechnergeschwindigkeit (Moore's Law).⁹

Informations- und Kommunikationstechnologien entwickeln sich inzwischen allerdings in Richtung vernetzter Computer, die aufgrund der Konvergenz der verschiedenen Kommunikationsinfrastrukturen hin zu einem All-IP-Internet nicht nur vielfältige Innovationspotenziale für Kommunikationsanwendungen (IP-TV, Voice-Over-IP etc.) schaffen, sondern auch vielfältige standortabhängige, adaptive Echtzeitanwendungen ermöglichen. Beispiele hierfür sind echtzeitbasierte lokale Erzeugung, Speicherung und Konsum von Elektrizität (Microgrids) sowie intelligente Verkehrssysteme (z.B. vernetztes/autonomes Fahren, vernetzter intermodaler Nahverkehr, intelligente Zugüberwachungssysteme).

Wesentliche Charakteristika für Potenziale von Informations- und Kommunikationstechnologien in Netzsektoren, insbesondere auch im Verkehr, sind die Nutzung von Echtzeitverkehrsdaten und die satellitengestützte Geopositionierung. Hierbei spielt das Internet der Dinge bzw. Maschine-zu-Maschine-Kommunikation eine wichtige Rolle, wobei die reale Welt der Fahrzeuge, Verkehrsleitsysteme und Verkehrsinfrastrukturen mittels Sensornetzen und breitbandigen Datenpaketübertragungsnetzen im All-IP-Internet verknüpft werden. Sowohl die Satellitennavigationssysteme als auch die breitbandigen Kommunikationssysteme besitzen den Charakter einer Vielzwecktechnologie, da sie die Basis für eine Vielzahl von Anwendungen bilden, die in der

- 8 T. F. Bresnahan, M. Trajtenberg: General purpose technologies: Engines of growth?, in: *Journal of Econometrics*, 65. Jg. (1995), H. 1, S. 83-108.
- 9 E. Brynjolfsson, A. McAfee: *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, New York 2014.

App-Ökonomie von Bedeutung sind. Vielfältige Anwendungspotenziale ergeben sich auf jeder Netzebene.

Finanzierung durch auslastungsabhängige Benutzungsentgelte

Ausgangspunkt ist die Frage nach den unternehmerischen Anreizen, Investitionen in GPT spontan bereitzustellen. Bereits in der sogenannten Grenzkosten-Kontroverse um die öffentliche versus private Finanzierung von Infrastrukturen hat Hotelling die Einführung einer mautfreien Brückenbenutzung nur für den Fall gefordert,¹⁰ dass keine Stauexternalitäten bei der Inanspruchnahme vorliegen, und Coase verwies ausgehend von Grenzkosten auf die Rolle mehrteiliger Tarife zwecks Kostendeckung.¹¹ In bahnbrechenden Arbeiten Anfang der 1960er Jahre hat Coase das Problem der physischen Externalitäten näher betrachtet und dabei institutionelle Lösungen zur Internalisierung von Externalitätskosten hergeleitet, die den Märkten eine zentrale Rolle zugestehen.¹²

Auch wenn Prosumer-Aktivitäten etwa im Bereich des Car-sharing eine zunehmende Bedeutung erlangen, werden auch in Zukunft die Knappheiten auf den Märkte für Verkehrsleistungen eine wichtige Rolle spielen. Nicht nur wird durch Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien die Erhebung von nutzungsabhängigen Entgelten für Beförderungsleistungen vereinfacht. Auch die Implementierung von auslastungsabhängigen Benutzungsentgelten für Wegeinfrastrukturen wird durch IKT-basierte Erhebungstechniken stark vereinfacht. Sozial optimale Stautarife führen zu einer effizienteren Nutzung der Infrastruktur und reduzieren folglich den Ausbaubedarf. Sie führen aber auch zu Einnahmen, die für den Ausbau von Wegeinfrastrukturen genutzt werden können und reduzieren dadurch den Finanzierungsbedarf aus dem öffentlichen Haushalt.¹³

10 H. Hotelling: The General Welfare in Relation to Problems of Taxation and of Railway and Utility Rates, in: *Econometrica*, 6. Jg. (1938), Nr. 3, S. 242-269.

11 R. Coase: The Marginal Cost Controversy, in: *Economica*, 13. Jg. (1946), Nr. 51, S. 169-182; ders.: The Federal Communications Commission, in: *Journal of Law and Economics*, 2. Jg. (1959), S. 1-40; ders.: The Problem of Social Costs, in: *Journal of Law and Economics*, 3. Jg. (1960), S. 1-44.

12 R. Coase: The Marginal Cost Controversy, in: *Economica*, 13. Jg. (1946), Nr. 51, S. 169-182; ders.: The Federal Communications Commission, in: *Journal of Law and Economics*, 2. Jg. (1959), S. 1-40; ders.: The Problem of Social Costs, in: *Journal of Law and Economics*, 3. Jg. (1960), S. 1-44.

13 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Engpassbasierte Nutzerfinanzierung und Infrastrukturinvestitionen in Netzsektoren, Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 26.9.2014, <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Ministerium/Veroeffentlichung-Wissenschaftlicher-Beirat/wissenschaftlicher-beirat-engpassbasierte-nutzerfinanzierung-und-infrastrukturinvestitionen-in-netzsektoren.html> (15.2.2017).

Aufgrund des einheitlichen standardisierten Internetprotokolls können unterschiedliche stationäre und mobile Breitbandtechnologien im zukünftigen All-IP-Internet zur Datenpaketübertragung eingesetzt werden.¹⁴ Auslastungsabhängige Benutzungsentgelte werden auch bei der Datenpaketübertragung im All-IP-Internet unerlässlich. Die Priorisierung von Datenpaketen innerhalb unterschiedlicher Qualitätsklassen zur Bereitstellung von deterministischen oder stochastischen Qualitätsgarantien macht Zulassungskontrollen und damit einhergehende Preis- und Qualitätsdifferenzierungen für unterschiedliche Qualitätsklassen unerlässlich. Die dabei anfallenden Erträge können von den Betreibern der Breitbandnetze neben den fixen Anschlussgebühren ebenfalls für die Finanzierung eingesetzt werden.¹⁵

Sind staatliche Investitionen in Informations- und Kommunikationstechnologie gerechtfertigt?

Es stellt sich die Frage, ob die Eigenschaft einer GPT bereits per se als Rechtfertigung für eine staatliche Subventionierung von IKT-Investitionen angesehen werden kann. Im Folgenden wird aufgezeigt, dass es aus ordnungs- und wettbewerbsökonomischer Perspektive nicht ratsam erscheint, die Charakteristika einer GPT mit öffentlichem Subventionierungsbedarf gleichzusetzen. Vielmehr sollten sich die Wettbewerbspotenziale zwischen konkurrierenden Infrastrukturen entfalten können und die Marktpotenziale von Knappheitspreisen und auslastungsabhängigen Benutzungstarifen möglichst umfassend genutzt werden. Allerdings kann in denjenigen IKT-Bereichen, in denen der Markt keine kostendeckenden Preise ermöglicht oder überhaupt keine Nutzungsrivalität vorliegt, eine Subventionierung aus dem öffentlichen Haushalt gerechtfertigt sein, damit die volkswirtschaftlichen Vorteile einer GPT ausgeschöpft werden können.

14 G. Knieps, P. Zenhäusern: Broadband network evolution and path dependency, in: Competition and Regulation in Network Industries, 16. Jg. (2015), H. 4, S. 335-353.

15 Vgl. G. Knieps, a.a.O.; G. Knieps, V. Stocker, a.a.O.; G. Knieps: Netz-evolution und die Dynamik des Wettbewerbs im zukünftigen All-IP-Internet, in: Wirtschaftsdienst, 96. Jg. (2016), H. 4, S. 246-248, <http://archiv.wirtschaftsdienst.eu/jahr/2016/4/wettbewerbpolitik-in-der-digitalen-wirtschaft/#res4> (15.2.2017).

Als aktuelles Beispiel wird die EU-Finanzierung von Breitbandinfrastrukturen in dünnbesiedelten Gebieten oder die nationale Breitbandstrategie in Deutschland angeführt.¹⁶ Es gilt dabei zwischen der Pfadabhängigkeit heterogener Breitbandnetze, die alle ohne öffentliche Subventionen lebensfähig sind, und dem verbleibenden Subventionsproblem der „weißen Flecken“, also derjenigen Gebiete, die ohne öffentliche Subventionen keine Breitbandversorgung erhalten würden und die folglich die darauf basierenden vielfältigen Echtzeit-Anwendungsdienste nicht in Anspruch nehmen könnten, zu unterscheiden.

In intelligenten Verkehrssystemen (wie auch in anderen Anwendungsfeldern des Internets der Dinge) gewinnt neben der Echtzeitübertragung auch eine räumlich differenzierte Datenerhebung mit einer immer höheren Positionsgenauigkeit zunehmend an Bedeutung. Somit kommt den Satellitennavigationssystemen in ihrer Eigenschaft als GPT eine immer stärkere Bedeutung zu. Das Geopositionierungs-Overlay-System EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)¹⁷ ist im Kern ein Erweiterungssystem in Form eines satellitengestützten Differenzial-GPS. Es sendet kostenlos Korrektursignale, die ohne zusätzliche Empfangsgeräte europaweit empfangen werden können. Dadurch wird die Positionsgenauigkeit des GPS bzw. des Galileo-Satellitensystems entscheidend verbessert. EGNOS kann in sämtlichen Bereichen, in denen präzise Geopositionierungen besonders wichtig sind, wie Luftfahrt, autonomes/vernetztes Fahren, Zugverkehrskontrolle, Navigation in Smart Cities oder in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Geopositionierungs-Systeme unterscheiden sich von denjenigen der Breitbandinfrastrukturen darin, dass keine Nutzungsrivalität beim Empfang der Positionsdaten entsteht. Aufgrund der perfekten Nicht-Rivalität im Konsum kann das Finanzierungsziel nicht über auslastungsabhängige Benutzungstarife erreicht werden. Eine staatliche Finanzierung erscheint hier daher naheliegend.

16 I. Henseler-Unger: Breitband – Ziele und Visionen, in: Wirtschaftsdienst, 96. Jg. (2016), H. 1, S. 72-74, <http://archiv.wirtschaftsdienst.eu/jahr/2016/1/breitband-ziele-und-visionen/> (15.2.2017).

17 Zur Definition von EGNOS vgl. http://www.kowoma.de/gps/waas_egnos.htm.

Title: Financing Intelligent Traffic Systems

Abstract: Recently the importance of public investment in the EU digital internal market has been increasingly stressed. The paper analyses how government subsidies for ICT investments should be assessed from an economic point of view. The focus is on the limits of financing ICT via usage-dependent user fees in broadband communication systems and in global navigation satellite systems. Both have the character of a General Purpose Technology (GPT), and they form the basis for a multitude of applications that are important in the “App economy”.

JEL Classification: L86, L88, L96, O31