

Hirte, Georg; Tscharaktschiew, Stefan

**Article**

## Langfristige Herausforderungen für die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland

Wirtschaftsdienst

*Suggested Citation:* Hirte, Georg; Tscharaktschiew, Stefan (2023) : Langfristige Herausforderungen für die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland, Wirtschaftsdienst, ISSN 1613-978X, Sciendo, Warsaw, Vol. 103, Iss. 6, pp. 376-379, <https://doi.org/10.2478/wd-2023-0113>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/275794>

**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.*



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Georg Hirte, Stefan Tscharaktschiew\*

## Langfristige Herausforderungen für die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland

Was sind die wesentlichen Herausforderungen für eine zukünftige Verkehrsinfrastruktur? Die Weichen für das nächste Jahrzehnt sind im Bundesverkehrswegeplan bereits gestellt. Wir schauen darüber hinaus, da Investitionen in die Infrastruktur zukünftige Anforderungen schon jetzt im Blick haben sollten. Dies betrifft die Frage nach der Notwendigkeit des Erhalts der bestehenden Infrastruktur, die Folge technologischer Entwicklungen im Verkehr auf Infrastrukturbedarfe und die zukünftige Finanzierung der Infrastruktur. Unser Fokus liegt auf Investitionen in die Straßeninfrastruktur. In Bezug auf technologische Änderungen erwarten wir neue Herausforderungen vor allem durch autonomes Fahren.

### Erhaltungsinvestitionen

Die wissenschaftliche Literatur hat die Wirkungen von Infrastrukturinvestitionen umfangreich untersucht (für Deutschland: Möller und Zierer, 2018; Hirte und Stephan, 2014). Bezüglich des Erhalts der Infrastruktur deuten neue Studien daraufhin, dass im deutschen Fernstraßennetz ein Qualitätsverlust erst relevant wird, wenn er viele kritische Infrastrukturabschnitte gleichzeitig betrifft. So hätte die gleichzeitige Sperrung vieler Brücken im Bundesfernstraßennetz aufgrund der Wirkung auf den Güterverkehr negative gesamtwirtschaftliche Effekte, Sperrungen einzelner Brücken wirken hingegen eher lokal (Gaus, 2023; Gaus und Link, 2021). Daher sind nur Erhaltungsinvesti-

© Der/die Autor:in 2023. Open Access: Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht ([creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de)).

Open Access wird durch die ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft gefördert.

\* Wir danken für die finanzielle Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 434191927.

**Prof. Dr. Georg Hirte** ist Lehrstuhlinhaber für Volkswirtschaftslehre, insbesondere Verkehrspolitik und Raumwirtschaft an der Technischen Universität Dresden.

**Dr. Stefan Tscharaktschiew** ist dort wissenschaftlicher Mitarbeiter.

tionen in die netzkritischen Infrastrukturbestandteile von gesamtwirtschaftlicher Bedeutung, ohne dass der vollständige Erhalt der Qualität der vorhandenen Infrastruktur jederzeit gesichert sein muss.

Ein weiterer Ausbau der Straßeninfrastruktur ist hingegen umstritten, da dieser zu induziertem Verkehr führt (Duranton und Turner, 2011). Inwieweit die Ertüchtigung der Infrastruktur hin zu intelligenten Straßen oder durch Oberleitungen für Lkw sinnvoll ist, hängt sehr von technologischen Entwicklungen ab. In der Öffentlichkeit weniger präsent sind Anforderungen an die Infrastruktur, die sich aus autonomer Mobilität ergeben.

### Rolle von autonomer Mobilität

Vollautonome Fahrzeuge (VAF)<sup>1</sup> könnten in einigen Jahren markttauglich sein. Zahlreiche Forschungsarbeiten deuten daraufhin, dass VAF den Transportsektor in fundamentaler Weise beeinflussen werden. Bezogen auf den zukünftigen Investitionsbedarf in die Straßenverkehrsinfrastruktur sind dabei Auswirkungen einer veränderten Verkehrsnachfrage sowie spezifischen Anforderungen an die Infrastruktur zu unterscheiden.

### Veränderter Bedarf aufgrund veränderter Verkehrsnachfrage

VAF könnten Carsharing deutlich attraktiver machen, da der Kunde nun nicht mehr zum Fahrzeug gelangen muss, sondern durch das VAF aufgelesen wird. Daher könnte die Zahl benötigter VAF erheblich geringer sein, als bei individuellem Autobesitz (Fagnant und Kockelman, 2014). Damit verbunden wäre auch die Abnahme des Flächenverbrauchs durch Parken. Dieses Potenzial wird allerdings durch den inhärenten Nutzen limitiert, den Individuen dem privaten Besitz eines VAF beimessen (Wadud und Chintakayala, 2021), und durch die nicht wesentlich geringeren Kosten pro km im Vergleich zu privat genutzten Fahrzeugen (Bösch et al., 2018). Mögliche Leerfahrten durch Repositionierung der „shared VAF“ könnten am Ende sogar zu mehr Verkehr führen.

1 Gemäß der gängigen Kategorisierung wird bei der höchsten Automatisierungsstufe 5 kein Fahrer mehr benötigt, da das Fahrzeug sämtliche Fahrsituationen eigenständig und sicher bewältigen kann (SAE International, 2021).

Leerfahrten können auch dadurch entstehen, dass VAF zu einer Verschiebung der Verkehrsnachfrage vom ruhenden zum fließenden Verkehr führen. Reisende sind fortan nicht mehr darauf angewiesen, ihr VAF am Ankunftsort zu parken, sondern können dieses an einen anderen Standort, z.B. Wohnort oder Stadtrand, verlagern oder sogar einfach nur herumfahren lassen („cruising“; Millard-Ball, 2019). Mehrere Studien konnten zeigen, dass unter plausiblen Annahmen eine Repositionierung ökonomischer sein kann als Parken am Zielort.<sup>2</sup> Die so entstehenden Leerfahrten erzeugen wiederum zusätzlichen Verkehr.

Vollautonome Mobilität verschiebt die Kostenstruktur privater Fahrzeuge. Während die Anschaffungskosten aufgrund erhöhter Anforderungen an die technische Ausstattung der Fahrzeuge steigen werden, kann infolge sinkender Opportunitätskosten des Reisens von einer Reduktion der variablen Kosten ausgegangen werden (Zhong et al., 2020). In VAF besteht die Möglichkeit des Rollenwechsels vom Fahrer zum Passagier. Die Reisezeit kann dann produktiv genutzt (Arbeiten) oder anders gestaltet werden (Lesen, Film schauen, Schlafen). Dies senkt die Zeitkosten und damit die generalisierten Kosten einer Fahrt. Bei gleichbleibender Zahlungsbereitschaft für die Durchführung einer Fahrt werden die gesunkenen Kosten die Verkehrsnachfrage erhöhen (Tscharaktschiew und Evangelinos, 2019).

Schließlich eröffnen VAF vollkommen neue Mobilitätsoptionen für Bevölkerungsgruppen, die vorher nicht oder nur eingeschränkt mobil waren. Zu nennen sind hier Menschen mit Behinderungen, ältere Menschen sowie Kinder und Jugendliche. Dies wirkt ebenfalls verkehrserhöhend.

VAF eröffnet Firmen die Option durch mobile Büros in VAF Immobilienkosten für Geschäftsräume auf die Gesellschaft abzuwälzen, da diese die Infrastruktur finanziert, auf denen VAF unterwegs sind. Dies führt letztlich ebenfalls zu einer Zunahme an Fahrten (Hirte und Laes, 2022).

Im Güterverkehr können vollautonome Lkw (VAL) mit den Lohnkosten des Fahrers einen wesentlichen Kostenfaktor im Güterverkehr obsolet werden lassen. Der Fahrer als nicht-teilbarer Input bestimmt im Wesentlichen die Größe von Güterfahrzeugen. Werden mehr Güter durch einen Lkw transportiert, verteilen sich die Lohnkosten auf mehr Transporteinheiten. Ohne diesen Skaleneffekt wäre es für Güterverkehrsunternehmen in vielen Fällen ökonomisch sinnvoller, zwei kleinere anstelle eines großen Lkw ein-

zusetzen (Zakharenko und Luttmann, 2023). Autonome Technologie könnte daher die Zahl der die Straßeninfrastruktur nutzenden VAL erhöhen. Gleichzeitig wäre das Gewicht jedes einzelnen VAL geringer. Die Folge wäre eine Zunahme von Verkehr, aber ein geringerer Fahrbahnverschleiß, da dieser überproportional mit dem Fahrzeuggewicht ansteigt.

#### Veränderter Bedarf aufgrund veränderter Anforderungen an die Infrastruktur

VAF und VAL haben Implikationen für die Infrastruktur selbst. Die bestehende Straßeninfrastruktur wurde für die Nutzung durch konventionelle Fahrzeuge erstellt. Offen ist, inwieweit die Infrastruktur in gleichem Maße für VAF und VAL geeignet ist, oder ob Anpassungen notwendig werden.<sup>3</sup>

- VAF können mit der Ausschaltung des menschlichen Faktors und der verbauten Technologie ihre Fahrspuren wesentlich akkurater einhalten. Fahrspuren könnten damit schmaler ausfallen und die Straßenkapazität ohne eine Errichtung weiterer Fahrspuren erhöht werden.
- Sollten VAF und VAL zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen, könnte auf feste Barrieren zur Separation von Richtungsfahrbahnen verzichtet werden. Andererseits könnte es notwendig sein, Straßen stärker von Fußgängerwegen zu separieren, da kreuzende Fußgänger den Verkehrsfluss bei autonomen Fahrzeugen erheblich einschränken.
- VAF und VAL greifen zur effizienten und sicheren Navigation auf Fahrbahnmarkierungen zurück. Eine kontinuierliche Instandsetzung der Markierungen ist daher notwendig. In Fällen, in denen Fahrbahnmarkierungen fehlen, könnte die Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikationstechnologie zur sicheren Navigation beitragen. Zudem müsste die Sichtbarkeit der Markierungen bei Dunkelheit erhöht werden, was Investitionen in Beleuchtungstechnik erfordert.
- Aufgrund geringerer Reaktionszeiten werden sich VAF und VAL mit geringeren Abständen zum vorausfahrenden Fahrzeug fortbewegen können. Dies ermöglicht das sogenannte Platooning, insbesondere im Fall von VAL. Folge ist, dass sich gleichzeitig mehr Fahrzeuge auf einem bestimmten Streckenabschnitt befinden. Wenn dies das Gewicht pro m<sup>2</sup> erhöht, werden Brücken stärker belastet. Dann werden Investitionen in ei-

<sup>2</sup> Im Falle der Option „Rückkehr zum Wohnort“ gilt dies insbesondere dann, wenn das VAF im Sinne eines haushaltsinternen Carsharing genutzt wird. Dies reduziert die Zahl der Pkw je Haushalt (Tscharaktschiew et al., 2022).

<sup>3</sup> Die folgenden Ausführungen basieren im Wesentlichen auf dem Überblicksartikel von Tengilimoglu et al. (2023).

ne Verstärkung der Brücken notwendig bei gleichzeitig höheren Instandhaltungskosten.

- Nutzen konventionelle Fahrzeuge und VAF die gleiche Fahrspur, kann dies zu Effizienzverlusten führen. So kann VAF Repositionierung ein Fahren mit sehr geringen Geschwindigkeiten implizieren (Tscharaktschiew und Reimann, 2023a). Umherfahrende VAF würden dann dem regulären Verkehr sehr hohe Staukosten verursachen. Eine Separation beider Verkehre über getrennte Fahrspuren könnte daher eine sinnvolle Strategie sein (Tscharaktschiew und Reimann (2023b). Zakharenko (2023) sieht zudem ein Moral Hazard Problem bei Nutzung gemeinsamer Fahrspuren. Sind VAF technologisch durch eine höhere Verkehrssicherheit gekennzeichnet, könnten Fahrer konventioneller Fahrzeuge oder auch Radfahrer mit risikoreicherem Verhalten reagieren. VAF könnten dann wiederum veranlasst sein, suboptimal geringe Geschwindigkeiten zu wählen.

Insgesamt folgt daraus, dass sich durch das Aufkommen autonomer Mobilität mit großer Wahrscheinlichkeit kein Minderbedarf an Straßeninfrastrukturinvestitionen ergibt. Zu viele Aspekte in Verbindung mit autonomer Mobilität führen tendenziell eher zu einem Anstieg der Verkehrsnachfrage und zu einem Anpassungsbedarf bestehender Infrastrukturen.

### Finanzierung

Die Finanzierung der Straßeninfrastruktur erfolgt in Deutschland teilweise nutzerfinanziert über die Lkw-Maut. Die Einnahmen aus der Lkw-Maut werden an die Autobahn GmbH weitergereicht, die für Bau, Betrieb und Erhalt der Bundesautobahnen zuständig ist. Darüber hinaus werden Mittel aus den öffentlichen Haushalten sowie in einigen ÖPP-Projekten (Öffentlich Private Partnerschaft) auch private Mittel zur Finanzierung der Straßeninfrastruktur eingesetzt. Eine vollständige Nutzerfinanzierung wie auf den von der ASFINAG verwalteten Autobahnen und Mautstrecken in Österreich ist infolge der gescheiterten Pkw-Maut in Deutschland vorerst nicht vorgesehen.

Wir erwarten dennoch, dass eine entfernungsabhängige Maut (Kilometersteuer) ein zentraler Baustein des zukünftigen Steuersystems sein wird (Sieg, 2022). Die Energiesteuer als drittgrößte Steuerkomponente leistet neben dem Lenkungseffekt zur Internalisierung externer Effekte auch einen wesentlichen Beitrag zur effizienten Finanzierung des Staatshaushalts. Dieser zweite Teil geht beim Übergang zur Elektromobilität infolge deutlich geringerer Einnahmen und der Subventionierung von Elektromobilität verloren (Tscharaktschiew, 2015). Eine kilometerab-

hängige Maut ergänzt um den vorgesehenen Einbezug des Verkehrs in den CO<sub>2</sub>-Handel und eine City-Maut könnte die Energiesteuer auf beiden Ebenen substituieren (Hirte und Nitzsche, 2013; Hirte und Tscharaktschiew, 2020; Tscharaktschiew und Hirte, 2010).

Ein zentraler Nachteil einer Kilometersteuer ist, dass sie im unmittelbaren Zusammenhang mit der Straßennutzung steht und daher als Nutzerfinanzierung wahrgenommen werden könnte. Die Pkw-Nutzer könnten dann erwarten, dass die Steueraufkommen vollständig zur Infrastrukturfinanzierung verwendet werden. Wenn der Gesetzgeber dem nachgibt, verzichtet er auf das Potenzial verkehrsbezogener Abgaben zur effizienteren Finanzierung öffentlicher Leistungen und verringert seine Ausgabenflexibilität. Aus diesen Gründen plädieren wir explizit für eine Kilometersteuer, die nicht zwingend als Nutzerfinanzierung eingesetzt wird. Eine zumindest teilweise verkehrsbezogene Verwendung in Form der Querfinanzierung anderer Verkehrsmittel (Tscharaktschiew und Hirte, 2012) könnte dabei die Akzeptanz einer nutzerfernen Verwendung erhöhen.

### Literatur

- Bösch, P. M., F. Becker, H. Becker und K. W. Axhausen (2018), Cost-based analysis of autonomous mobility services, *Transport Policy*, 64, 76-91.
- Durantou, G. und M. A. Turner (2011), The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US cities, *American Economic Review*, 101(6), 2616-2652.
- Fagnant, D. J. und K. M. Kockelman (2014), The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1-13.
- Gaus, D. (2023), *Market Access, Productivity, and Failing Infrastructure: Evidence from German firms*, mimeo.
- Gaus, D. und H. Link (2021), Highway Conditions and Insufficient Maintenance in Germany: A Threat for Economic Growth?, *Journal of Transport Economics and Policy*, 55(4), 308-333.
- Hirte, G. und R. Laes (2022), Working from Self-Driving Cars. Center for Public and International Economics, TU Dresden, *CEPIE Working Papers*, 01/22.
- Hirte, G. und E. Nitzsche (2013), Evaluating policies to achieve emission goals in urban road transport, *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, 84(2), 112-137.
- Hirte, G. und A. Stephan (2014), Regionale Beschäftigungswirkungen von öffentlichen Investitionen in Straßen- und Schieneninfrastruktur (Studie für die Hans-Böckler-Stiftung), *Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr*, TU Dresden, 2/2014.
- Hirte, G. und S. Tscharaktschiew (2020), The role of labor-supply margins in shaping optimal transport taxes, *Economics of Transportation*, 22, 100156.
- Millard-Ball, A. (2019), The autonomous vehicle parking problem, *Transport Policy*, 75, 99-108.
- Möller, J. und M. Zierer (2018), Autobahns and jobs: A regional study using historical instrumental variables, *Journal of Urban Economics*, 103, 18-33.
- SAE International (2021), Surface vehicles recommended practice, J3016, *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, April 2021.
- Sieg, G. (2022), 9-Euro-Ticket: Straßenmaut langfristig sinnvoller, *Wirtschaftsdienst*, 102(8), 576-576.

- Tengilimoglu, O., O. Carsten und Z. Wadud (2023), Implications of automated vehicles for physical road environment: A comprehensive review, *Transportation research part E: Logistics and Transportation Review*, 169, 102989.
- Tscharaktschiew, S. (2015), How much should gasoline be taxed when electric vehicles conquer the market? An analysis of the mismatch between efficient and existing gasoline taxes under emerging electric mobility, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 39, 89-113.
- Tscharaktschiew, S. und C. Evangelinos (2019), Pigouvian road congestion pricing under autonomous driving mode choice, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 101, 79-95.
- Tscharaktschiew, S. und G. Hirte (2010), The drawbacks and opportunities of carbon charges in metropolitan areas – A spatial general equilibrium approach, *Ecological Economics*, 70(2), 339-357.
- Tscharaktschiew, S. und G. Hirte (2012), Should subsidies to urban passenger transport be increased? A spatial CGE analysis for a German metropolitan area, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(2), 285-309.
- Tscharaktschiew, S., F. Reimann und C. Evangelinos (2022), Repositioning of driverless cars: is return to home rather than downtown parking economically viable?, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 13, 100547.
- Tscharaktschiew, S. und F. Reimann (2023a), *Cruising or Parking*, Mimeo.
- Tscharaktschiew, S. und F. Reimann (2023b), *The economics of speed choice and control in the presence of driverless vehicle cruising and parking-as-a-substitute-for-cruising*, Mimeo.
- Wadud, Z. und P. K. Chintakayala (2021), To own or not to own—That is the question: The value of owning a (fully automated) vehicle, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 123, 102978.
- Zakharenko, R. (2023), The future of ground transportation and how to get there: an economist's perspective, *Working Paper*.
- Zakharenko, R. und A. Luttmann (2023), Downsizing the jet: A forecast of economic effects of increased automation in aviation, *Transportation Research Part B: Methodological*, 170, 25-47.
- Zhong, H., W. Li, M. W., Burris, A. Talebpour und K. C. Sinha (2020), Will autonomous vehicles change auto commuters' value of travel time?, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102303.

---

**Title:** *Long-term Challenges for Transport Infrastructure in Germany*

**Abstract:** *We discuss future challenges to road transport infrastructure. These are related to maintenance, autonomous transport and the financing of infrastructure. We state that maintenance investments are mainly relevant and necessary to avoid a strong reduction in accessibility; autonomous driving will not allow for the reduction in infrastructure investment. A share of revenue from a kilometer tax and city charges will be used to finance road infrastructure and cross-finance other infrastructure.*