

Autonomes Fahren – Chancen und Risiken bezüglich des Energieverbrauchs von Pkw und mögliche Auswirkungen auf den Straßenverkehr

Stakeholderdialog Nachhaltige Digitalisierung

Wie Digitalisierung unsere Ressourcen schont

Online-Event am 11.12.2020

Mascha Brost, Prof. Tjark Siefkes, Dr. Stephan Schmid

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

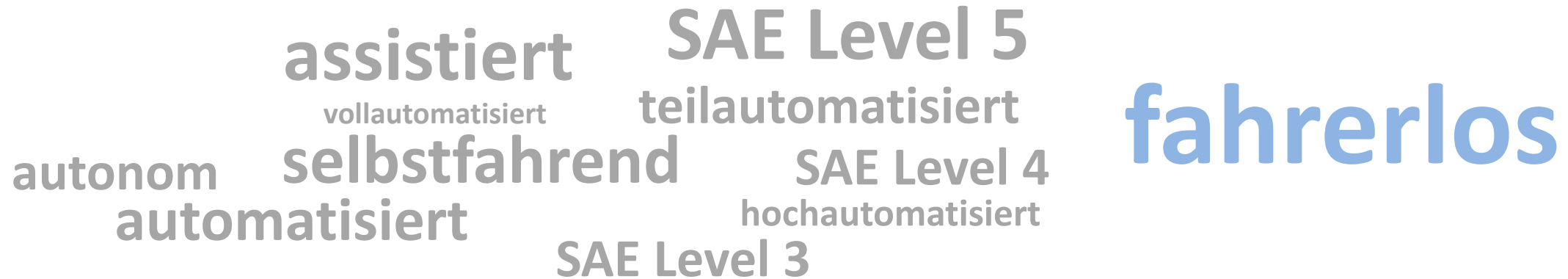
Institut für Fahrzeugkonzepte



Wissen für Morgen



Begriffsdefinition



Es gibt viele Stufen von einer Fahrzeugführung durch Menschen bis hin zu autonom fahrenden Fahrzeugen, die lediglich eine Zieleingabe erhalten und selbstständig Route inkl. Fahrmanöver planen und ausführen. Im Folgenden liegt der Fokus auf Fahrzeugen, die nicht von einer Person gesteuert werden.



Fahrerloses Fahren – vielfältige Chancen und Risiken

Energieverbrauch /
Treibhausgase

Verkehrssicherheit

Schadstoffe

Flächenverbrauch

Zugang zu Mobilität



Grafik: [DLR](#)

Aufenthaltsqualität

Stau

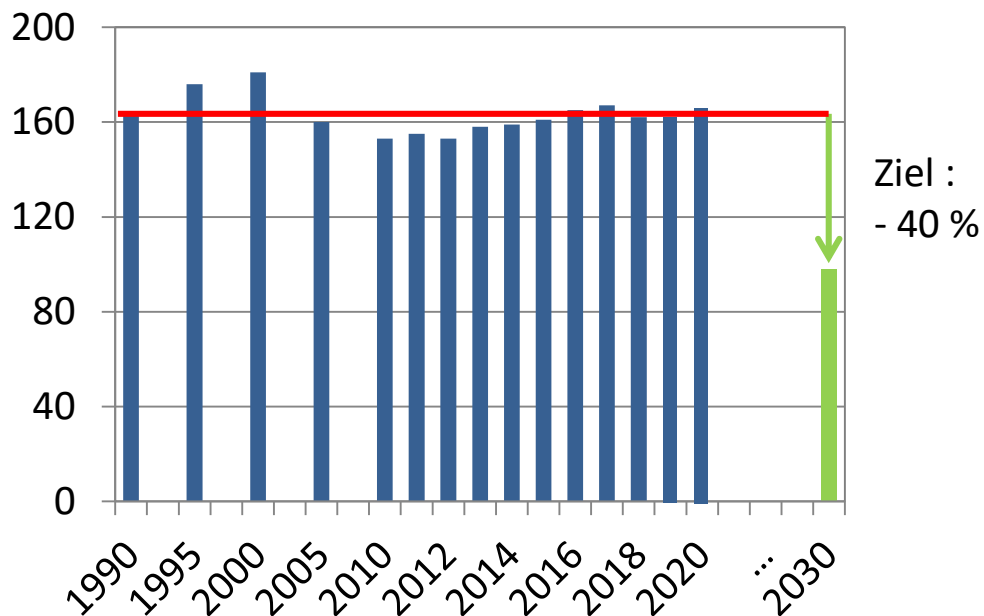
Automatisierung kann sich auf viele Aspekte
des Verkehrs auswirken – Fokus hier: Energieverbrauch

Wie relevant ist der Energieverbrauch von Fahrzeugen?

Anteil des Verkehrssektors an Gesamtreibhausgasemissionen: ca. 20 % in Deutschland

Emissionen des Verkehrs in Deutschland

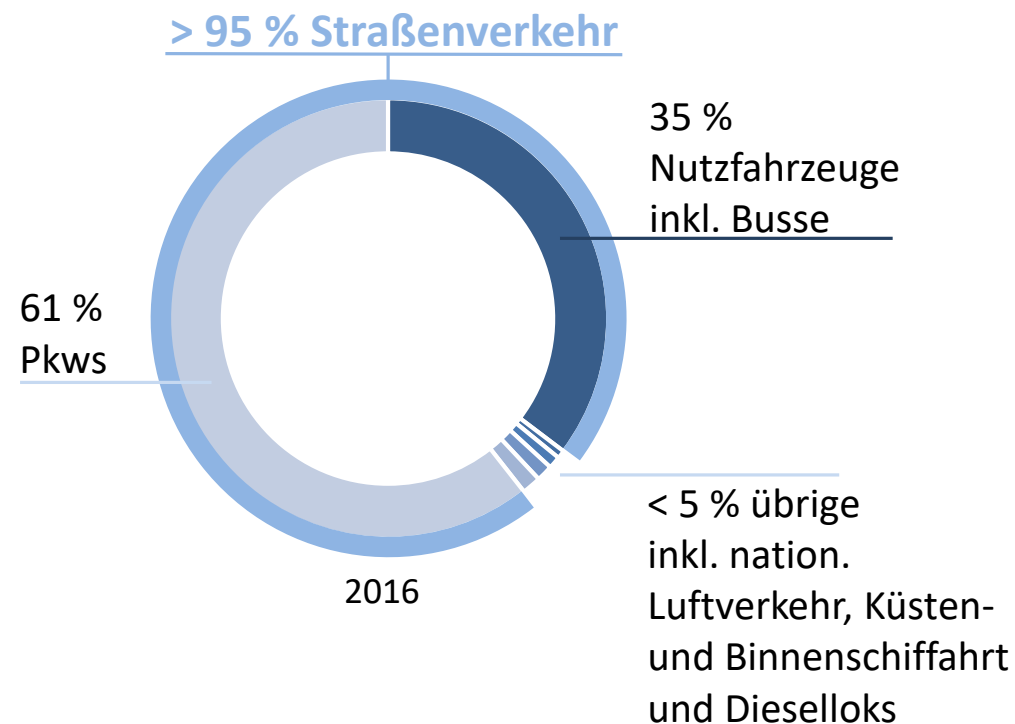
in Mio. t CO₂-Äquivalent



Datenbasis: BMU 2019

* Die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Wie setzen sich die Verkehrsemissionen zusammen*?



*ohne CO₂ aus Biokraftstoffen Datenbasis : UBA 2018

Alle Quellen: siehe Quellenverzeichnis am Ende der Präsentation

Ist der Energieverbrauch in Zukunft relevant, falls Pkw elektrisch fahren?

Elektroautos verursachen gegenüber Verbrennern weniger Treibhausgasemissionen, allerdings verursachen auch sie Probleme:

- **42 %** Anteil an erneuerbarer Energien am Stromverbrauch in Deutschland 2019 – weiterer Ausbau erforderlich.
- **Stromverbrauch wächst** mit Wechsel von fossilen Kraftstoffen zu elektrischer Energie.
- Erzeugung, Übertragung und Speicherung von elektrischer Energie benötigen kritische Materialien. **Ressourcen** sind **begrenzt** und Abbau ist mit **Umweltverschmutzung** und **Menschenrechtsverletzungen** verbunden.



Quelle: Rr2000 (wikimedia)



Quelle: Diego Delso (wikipedia)

Minimaler absoluter Verbrauch & maximale Energieeffizienz sind auch bei erneuerbarer Energie relevant.



Was beeinflusst den Energieverbrauch von (fahrerlosen) Fahrzeugen?



Quelle: [DLR](#)

Einzelfahrzeug:

- **Fahrzeugtechnologie**
Fahrzeuggröße, Gewicht, Antriebsart, Motorleistung, Nebenverbraucher wie Heizung etc. ggfs. Automatisierungstechnik
- **Fahrleistung und Streckencharakteristik**
- **Fahrverhalten**
Mensch bzw. Software bei fahrerlosen Fahrzeugen

**Wechselseitige
Abhängigkeit**
(z. B. Anteil von fahrerlosen
Fahrzeugen im Verkehrssystem,
Verkehrsfluss)



Quelle: Radoslav Drozdezewski ([wikimedia](#))

Verkehrssystem:

- Gesamtfahrleistung aller Fahrzeuge (km)
- **Energieverbrauch der Einzelfahrzeuge / durchschnittlicher Verbrauch des Fahrzeugbestands**
- **Verkehrsfluss, Geschwindigkeiten (→ Tempolimits), etc.**
- Infrastruktur
 - z. B. Ampeln, Verkehrsleitzentrale
 - ggfs. Vernetzungsinfrastruktur, z.B. 5G Netz, **Datenverarbeitung**, Datenübertragung, Sensorik

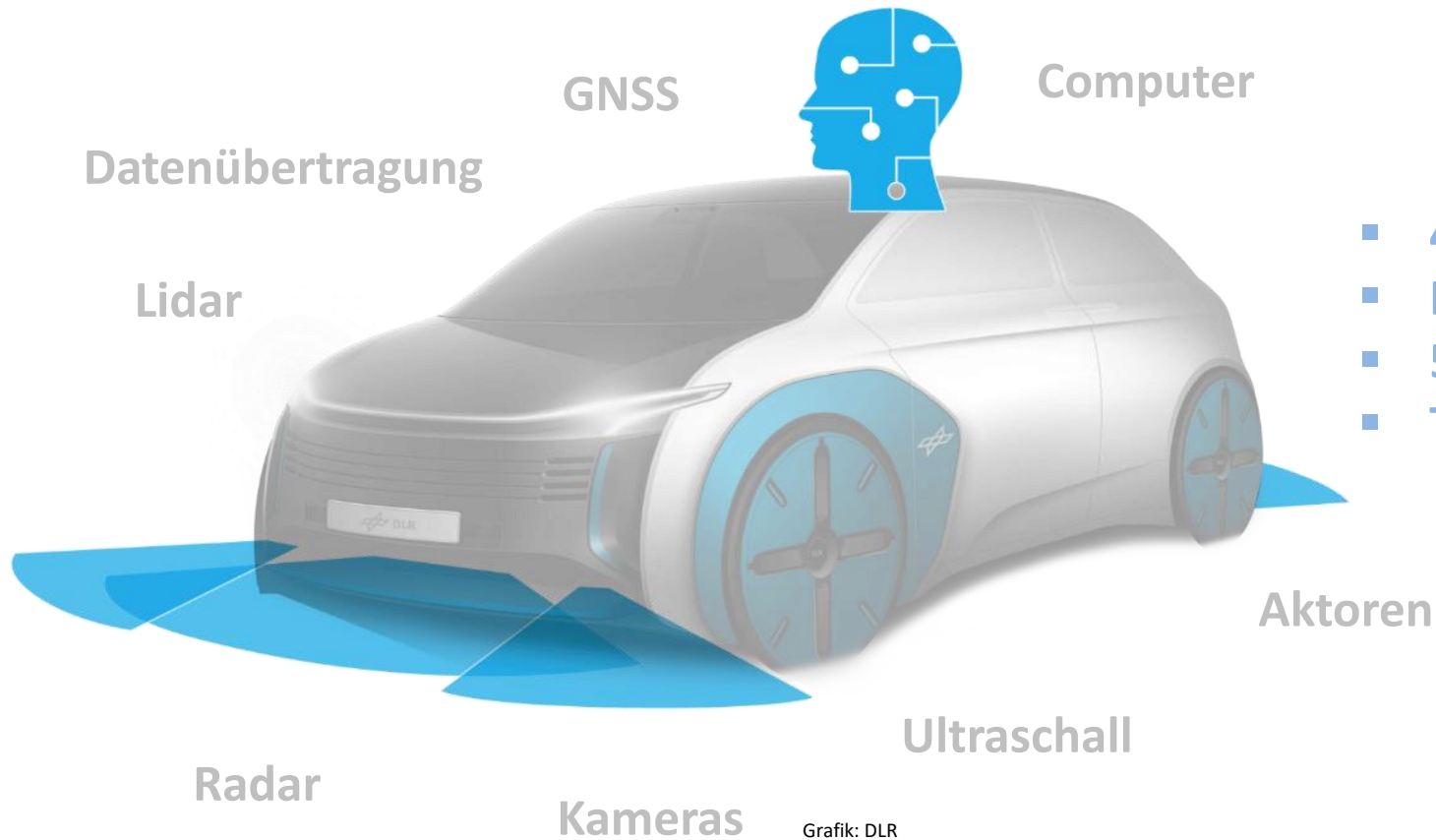
Welche Fragen stellen sich zur Wirkung von fahrerlosem Fahren?

Wie verändert fahrerloses Fahren zukünftig

- Fahrzeugmodelle – gibt es bspw. mehr kleinere Fahrzeuge, Luxusfahrzeuge oder ganz neue Konzepte?
 - die Betriebsweise / Fahrweise von Fahrzeugen?
 - die Verkehrsnachfrage?
 - den Besetzungsgrad von Fahrzeugen?
 - die Art der Nutzung – werden Fahrzeuge in Zukunft meist geteilt (Sharing)?
 - die Anzahl der Fahrzeuge?
- ... und viele weitere Aspekte



Wie viel Energie braucht die Technik für das fahrerlose Fahren?



- 4-15 % zusätzlicher Energieverbrauch?
- Bezugsgröße wichtig – Kleinwagen, Bus?
- 50-100 % mehr bei Forschungsfahrzeugen
- Technologische Entwicklung ungewiss

Daten erfassen, übertragen, **zusammenführen, auswerten, verstehen** | **entscheiden** (kommunizieren) | handeln



Energieverbrauch im Betrieb

Einsparpotenzial

- Eco-driving (energieoptimierter Fahrstil)
- Eco-routing (energieoptimale Routenwahl)
- Platooning (reduzierter Luftwiderstand)
- Parkassistenten (energieoptimiertes Einparken und Minimierung Parkplatzsuche)
- Einhalten von Verkehrsregeln (z. B. Tempolimits)

Risiko eines erhöhten Energieverbrauchs

- Höhere Fahrgeschwindigkeiten (Autobahn), ermöglicht durch erhöhte Sicherheit
- Optimierungsziele wie z. B. minimale Fahrzeit oder “Fahrspaß/sportliches Fahren”
- Mehr Nebenverbraucher, z. B. Entertainmentsysteme, Ausstattung für mobiles Büro
- Betrieb der Automatisierungstechnik: Sensorik, Datenverarbeitung, Aktorik



Quelle: BP63Vincent ([wikimedia](#))



Quelle: Wiki-text ([wikimedia](#))

Quelle: asawin [pxhere](#)

Einfluss auf Fahrzeugkonzepte

Potenzial für geringen Energieverbrauch



Leichtbau möglich durch erhöhte aktive Sicherheit, kleinere Batterien, geringere Antriebsleistung, angepasst an Beförderungszweck



Zuschnitt auf den Einsatzzweck durch mehr Sharing: kleine Fahrzeuge für Fahrten mit geringem Besetzungsgrad (\emptyset 1,5 Personen in Deutschland)

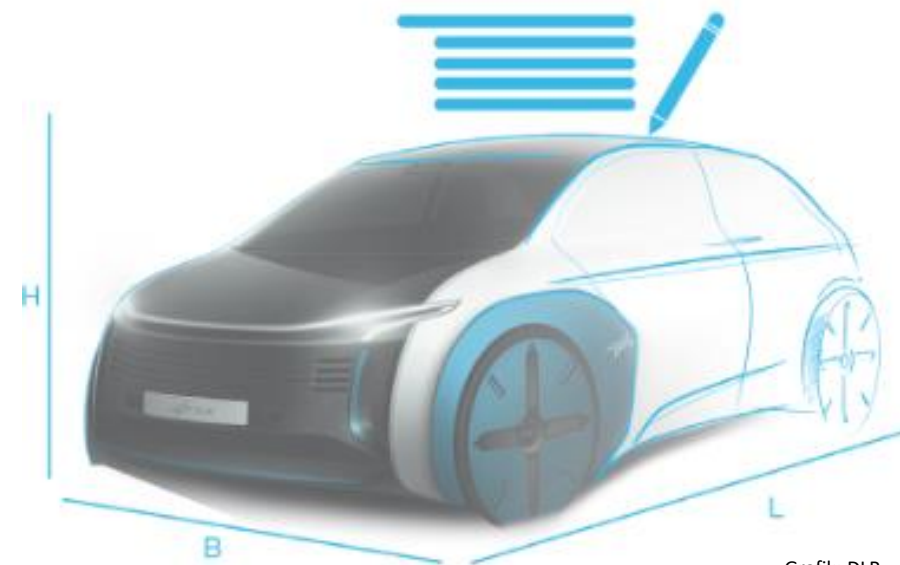


Elektroantrieb (geringere Reichweitenangst, automatisiertes Laden), prinzipiell ist fahrerloses Fahren mit jeder Antriebsart denkbar

Risiko für höheren Energieverbrauch



Fokus auf Prestige, Luxus, Komfort und Unterhaltung statt auf niedrigen Energieverbrauch „Fahrzeug mit Loungecharakter“



Grafik: DLR



Wie werden fahrerlose Fahrzeuge der Zukunft aussehen?

Luxury in motion (Mercedes F 015)?



Quelle: Bene Riobó ([wikimedia](#))

Flexibilität durch austauschbare Transportapseln (DLR U-Shift)?



Quelle: [DLR](#)

Quasi unveränderte Pkw-Konzepte, jedoch fahrerlos (Uber/Volvo)?



Quelle: Dllu ([wikimedia](#))

Shuttlebusse im ÖPNV (EZ10 in Bad Birnbach)?



Quelle: Richard Huber ([wikimedia](#))

Fahrerlose Kleinfahrzeuge (Waymo)?



Quelle: Grendelkhan ([wikimedia](#))

... oder ganz anders?



Wie werden wir fahrerlose Fahrzeuge nutzen – mit Ridesharing, Carsharing, Privatnutzung, zentralen Leitsystemen?



Grafik: [DLR](#)



Grafik: asawin [pxhere](#)

Werden Nutzungskonzepte mit **geteilten Fahrzeugen** bzw. Fahrten durch fahrerloses Fahren attraktiver, z. B. durch mehr Abholung von Fahrgästen?

Wird es ein **zentrales Leitsystem** geben, das den gesamten Verkehrsfluss optimiert?

Werden Fahrzeuge weiterhin meist **privat genutzt** – mit einem durchschnittlichen Besetzungsgrad von 1,5 Personen pro Fahrzeug?

Wie nutzen wir die Zeit, wenn wir nicht selbst steuern müssen – für mobiles Arbeiten im Fahrzeug, Entertainment?



Wie wirkt sich fahrerloses Fahren auf das Verkehrssystem aus?



Potenzial

- **Fahrleistung und Anzahl der Fahrzeuge im Bestand sinken** durch
 - **Bündelung** von Fahrten (Ridesharing)
 - **Modal Shift durch Verknüpfung verschiedener Modi**, mehr Nutzung Rad, Fußverkehr, ÖPNV
- **Optimierung Verkehrsfluss**
- Verlagerung von Sensorik und Datenverarbeitung in die **Infrastruktur, gemeinsame Nutzung**

Risiko

- **Fahrleistung und Anzahl der Fahrzeuge steigen**, da
 - Autofahren **komfortabler**
 - Notwendigkeit des **Führerscheinbesitzes entfällt**
 - **Leerfahrten**, ggfs. sinkt der \emptyset Besetzungsgrad unter 1
- **Verschlechterung Verkehrsfluss**, z. B. durch Mischverkehr
- **Höhere Durchschnittsgeschwindigkeit** (Autobahnen)
- Hoher **Energieverbrauch Infrastruktur** wie 5-G Netz, Sensorik und Datenverarbeitung



Komfort und Nachhaltigkeit als Werbebotschaften



Grafiken: DLR

Im Rahmen von Marketing in Zusammenhang mit fahrerlosem Fahren wird Nachhaltigkeit oft gemeinsam mit hohem Komfort genannt, z. B. von [Volvo](#) in Bezug auf die Alternative zum Flugzeug bei Kurzstrecken.

Eine differenzierte Betrachtung ist nötig, also der Vergleich verschiedener Reiseoptionen: bei vielen Strecken gibt es bereits heute nachhaltige Alternativen zu Flugzeug oder auch zu Pkw. Häufig steht der Komfort bei der Verkehrsmittelwahl im Vordergrund.



Fazit

- Fahrerloses Fahren ist in **vielen Varianten** denkbar – von individuell genutzten Pkw bis hin zu neuen Konzepten wie geteilten On-Demand Shuttles im ÖPNV. Entsprechend vielfältig sind mögliche Auswirkungen.
- **Energieeinsparpotenzial** durch fahrerloses Fahren **im Einzelfahrzeug ist gering bis negativ**
→ daher Fokus auf Automatisierung Öffentlicher Verkehr und gebündelte Lieferverkehre sinnvoll, nicht Privat-Pkw.
- Potenzial für **Unterstützung Mobilitätswandel** ist vorhanden: Modal Shift hin zu Ridesharing, ÖPNV.
- **Bilanz** der Auswirkungen auf den Energieverbrauch ist **offen, für signifikante Reduzierung müssten Fahrzeugkilometer weniger werden, Besetzungsgrade höher, oder Fahrzeuge kleiner und leichter.**
- Die Umsetzung von Einsparpotenzial ist eine **Frage des gesellschaftlichen und politischen Willens**, der Akzeptanz und auch der Strategie der Hersteller.
- **Auswirkungen sind erst langfristig** zu erwarten, wenn fahrerloses Fahren einen hohen Anteil erreicht, in weit über 10 Jahren, → **kein kurzfristiger Beitrag zum Klimaschutz.**

Automatisiertes Fahren wirkt sich nicht per se positiv oder negativ auf den Ressourcenverbrauch aus. Die Bilanz hängt von technologischen Fortschritten, insbesondere aber von Rahmenbedingungen seitens Politik, Gesellschaft, Herstellern und Anwendung durch Nutzer:innen ab.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Grafik: DLR



Quellen

Folie 4

Grafik links: Quelle: DLR auf Basis Daten BMU 2019, ergänzt mit Zahlenwerten für 2019 (163 Mio. t CO₂-equiv.) und 2020 (166 Mio. t CO₂-equiv., Auswirkungen der Covid 19 Pandemie noch nicht berücksichtigt)
<https://www.bmu.de/pressemitteilung/klimabilanz-2018-45-prozent-weniger-treibhausgasemissionen/> und
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzbericht_2019_kabinettsfassung_bf.pdf

Grafik rechts: Quelle: DLR auf Basis von UBA (2018a): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. Dessau
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_in_zahlen_2018_bf.pdf

Folie 5

Ökobilanz Elektroautos: <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/news/foerdert-eine-umweltpraemie-fuer-elektrifizierte-pkw-geringe-treibhausgasemissionen> und
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/elektroautos_bf.pdf
Anteil erneuerbarer Energien in Deutschland 2019: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

Folie 8

Basierend auf eigenen Forschungsarbeiten des DLR Instituts für Fahrzeugkonzepte
Brost, Mascha und Deniz, Özcan und Österle, Ines und Ulrich, Christian und Senzeybek, Murat und Hahn, Robert und Schmid, Stephan (2020) *Energy Consumption of Connected and Automated Vehicles*. In: Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Springer, New York, NY. Seiten 1-24. ISBN 978-1-4939-2493-6, https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4939-2493-6_1098-1
sowie weiteren Studien wie Agora Verkehrswende (2020): Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen. Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität
https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2020/Automatisierung_des_Automobils/Agora_Verkehrswende_Automatisierung_des_Automobils_und_ihre_Folgen.pdf

Folie 11

Durchschnittlicher Besetzungsgrad in Deutschland: infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, 2019: Mobilität in Deutschland. Kurzreport. Verkehrsaufkommen - Struktur - Trends,“ Bonn, Ausgabe September 2019



Wie kann fahrerloses Fahren eine Beitrag zur Verkehrswende leisten?

- Wie können Leerfahrten vermieden, Verkehrsleistung reduziert und ein Umstieg auf andere Modi gefördert werden?
- Wie kann die Politik technische Entwicklung fördern und dabei sozio-ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen für eine zukunftsfähige Entwicklung setzen?
- Wie können Verbraucher:innen und die Gesellschaft als Ganzes dazu beitragen, dass fahrerloses Fahren zu einer Reduzierung von Ressourcen- und Energieverbrauch führt?



Grafik: DLR

