

AUTORICH

AUTONOMES FAHREN
RISIKEN & CHANCEN FÜR DIE STÄDTE

Jan Riel
Kerstin Gothe
Alexa M. Kunz
Lisa Matzdorff
(Hrsg.)



Impressum

Projektbeteiligte

Hochschule Karlsruhe (HKA)

Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI)

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel, Tim Reuber, M. Eng., Jan Wachsmann, M. Eng.



Labor für GNSS und Navigation

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger, Naznin Akter, M. Sc.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Institut für Entwerfen von Stadt und Landschaft (IESL)

Prof. Dipl.-Ing. Kerstin Gothe, Dipl.-Ing. Lisa Matzdorff



House of Competence (HoC), Methodenlabor

Dr. Alexa Maria Kunz, Dipl.-Soz. Felix Albrecht, Josua Sequenz, B. A.

Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz, Karlsruhe

Koehler & Leutwein GmbH & Co KG

Peter Koehler, M.A., MBA, Jonas Fehrenbach,

M. Sc. Martin Pielawa, B. Sc., Stefan Wammetsberger



Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtechnik & Bildauswertung (IOSB)

Dr.-Ing. Miriam Ruf, Jens Ziehn, M. Sc.



Karlsruhe, Februar 2022

Im Rahmen des Programms Smart mobility Baden-Württemberg gefördertes transdisziplinäres Forschungsprojekt zum automatisierten und vernetzten Fahren am Beispiel der Stadt Karlsruhe

Laufzeit des Projektes: 2018 bis 2022

Gefördert durch:

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR VERKEHR



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST

INHALT

Teil 1: Autonomes Fahren: Was ist das und was müssen wir im Blick behalten?

CHANCEN UND RISIKEN DES AUTONOMEN FAHRENS

S. 5

Jan Riel, Kerstin Gothe, Lisa Matzdorff

AUTONOMES FAHREN UND DAS GEMEINWOHL

S. 12

Jan Riel, Kerstin Gothe, Lisa Matzdorff

AUTONOMES FAHREN UND INDIVIDUELLE NUTZUNGSABSICHTEN

S. 13

Jan Riel, Tim Reuber, Felix Albrecht, Alexa Maria Kunz, Josua Sequenz

Teil 2: Was kommt auf unsere Stadt zu?

SZENARIEN FÜR DAS JAHR 2040

S. 17

Jan Riel, Kerstin Gothe, Lisa Matzdorff, Tim Reuber, Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht

(UM-)GESTALTUNG von 4 STRASSENTYPEN

S. 23

Lisa Matzdorff, Kerstin Gothe

MODELLIERUNG UND BEWERTUNG DER SZENARIEN

S. 32

Jan Riel, Tim Reuber, Büro Köhler+ Leutwein

DIE SZENARIEN AUS DER SICHT VON BÜRGER:INNEN

S. 46

Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht, Jan Riel, Josua Sequenz

STEUERUNGSTRUMENTE ZUR VERRINGERUNG VON FAHRTEN

S. 50

Reiner Jäger, Jan Riel, Naznin Akter

Teil 3: Abstimmungsorientierte Situationen im Test

WIE BEGEGNEN SICH AUTONOME FAHRZEUGE UND PASSANT:INNEN?

S. 55

Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht, Josua Sequenz, Jan Riel, Jan Wachsmann

Teil 4: Welche Weichen müssen wir stellen?

KERNBOTSCHAFTEN UND EMPFEHLUNGEN

S. 63

Jan Riel, Kerstin Gothe, Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht, Tim Reuber, Lisa Matzdorff

Anhang



AUTONOMES FAHREN:

WAS IST DAS UND WAS MÜSSEN WIR IM BLICK BEHALTEN?

CHANCEN UND RISIKEN DES AUTONOMEN FAHRENS

Dank

Das Projekt AutoRICH wurde gefördert vom Ministerium für Verkehr des Landes Baden-Württemberg und vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg. AutoRICH ist damit eines von mehreren „Smart Mobility“-Projekten, die im Rahmen des Aufbaus und der initialen Nutzung des Testfeld *Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF-BW)* bearbeitet wurden und hatte eine Laufzeit von September 2018 bis Februar 2022. Die Feldversuche im Rahmen des Projektes wurden auf der Infrastruktur des *TAF-BW* erarbeitet und getestet.

Unser Dank gilt neben den fördernden Ministerien vor allem der Stadt Karlsruhe, die das Projekt von Beginn an unterstützt hat. Beginnend mit der Bereitstellung von umfangreichen Datengrundlagen bis hin zur wiederholten Diskussion und Rückkoppelung von Projektergebnissen war die Unterstützung durch die städtischen Dienststellen ein wesentlicher Grundstein für das Projekt. Ebenfalls danken wir herzlich allen, die sich an den Umfragen, Feldexperimenten und Dialogformaten beteiligt haben. Erst durch sie wurden Partizipation und empirische Sättigung zu mehr als einem Anspruch.

Einführung

Vernetzt, autonom, smart, elektrisch. Begleitet von diesen Schlagworten kursieren zahlreiche Bilder zum autonomen Fahren. Fast alle zeigen belebte, urbane Räume mit hoher Aufenthaltsqualität, in denen Radfahrer, Fußgänger und autonome Fahrzeuge sich in harmonischem Miteinander bewegen. Parkende Autos, so wie sie heute zahlreich am Straßenrand stehen, sind nicht erkennbar, einmal abgesehen vielleicht von einem wartenden autonomen Mini-Shuttle. Die Straßen und der öffentliche Raum insgesamt unterscheiden sich zumindest in den Visualisierungen deutlich vom Bestand, den wir heute kennen.

Tatsächlich scheinen enorme technologische Fortschritte in der nächsten Zeit möglich und Visionen von lebenswerten Städten mit niederschwelligem Zugang zu einer nachhaltigen, umfeldverträglichen Mobilität zum Greifen nahe. In der Forschung und Entwicklung werden von der Fahrzeug- und Dienstleistungsindustrie jedoch überwiegend Fragestellungen diskutiert, die sich entweder auf (fahrzeug-) technische Fragestellungen beziehen, wie z.B. die Programmierung einzelner Fahrmanöver oder auf die Entwicklung neuer Geschäftsfelder und Mobilitätsangebote, die auf die *zusätzlichen* Mobilitätsoptionen autonomer Fahrzeuge abzielen und *zusätzliche* Personengruppen ansprechen. Das Risiko, dass durch autonomes Fahren sehr viel Mehrverkehr generiert wird, erscheint sehr hoch. Vor diesem Hintergrund entstand das Projekt AutoRICH mit der Absicht, die Chancen und Risiken des autonomen Fahrens für die Städte und ihre Bewohner:innen auch aus Sicht der Kommunen und der Bewohner:innen zu beleuchten und zu untersuchen, welche Weichen heute schon gestellt werden müssten, um eine Entwicklung anzustoßen, die all diese Bedürfnisse miteinander verknüpft.

Im Projekt AutoRICH werden die Perspektiven der Kommunen, der Endverbraucher:innen und der Wirtschaft nicht isoliert betrachtet, sondern als Teil der Gesamtgesellschaft. Insofern beruhen in AutoRICH zugrunde gelegte Bewertungskriterien auf einer gesamtgesellschaftlichen Perspektive, die am Gemeinwohl ausgerichtet ist. In diesem Sinne werden Entwicklungen als positiv verstanden, die eher zu weniger Autoverkehr führen. Als Risiken werden dagegen Entwicklungen bezeichnet, die eher für eine Zunahme des Autoverkehrs sprechen. Bisweilen hängt auch von der Perspektive ab, ob etwas als Chance oder Risiko eingeordnet werden kann. In solchen Fällen werden beide Perspektiven benannt, wodurch auch Zielkonflikte sichtbar werden.

Chancen & Risiken

Mobilität für mehr Personengruppen

Chancen:

Autonom fahrende Fahrzeuge ermöglichen es auch solchen Personengruppen, am Kfz-Verkehr teilzunehmen, die derzeit nicht (selbst) Auto fahren können: Kranke, Behinderte, Betrunkene, Kinder, Hochbetagte etc. (Chance aus Nutzer:innenperspektive). Bei Fahrten zum Holen oder Bringen von Personen legen die Fahrenden Hin- und Rückfahrt i.d.R. doppelt zurück. Durch autonomes Fahren könnten zahlreiche Fahrten im Zusammenhang mit dieser sog. Begleitmobilität entfallen (Chance aus verkehrsplanerischer Perspektive und Nutzer:innenperspektive).

Risiken:

Mit den neuen Nutzer:innengruppen würde das Fahrtenaufkommen erhöht (Risiko aus verkehrsplanerischer und ökologischer Sicht). Insbesondere bei Kindern und Jugendlichen könnte sich die Auto-Affinität zudem deutlich erhöhen und damit der in den letzten Jahren begonnenen Orientierung auf Multimodalität bzw. ÖPNV und Radfahren entgegenwirken. Ansätze zur Reduzierung des MIV-Fahrtenaufkommens würden ins Leere laufen (Risiko aus verkehrsplanerischer Perspektive, Chance aus Perspektive der Automobilwirtschaft).

Fahrzeit anders nutzen

Chancen:

Aktive Fahrzeit ist weitgehend ‚verlorene‘ Zeit. Diese Zeit könnte in autonom fahrenden Fahrzeugen durch andere Tätigkeiten wie Arbeiten, Entspannen, Kommunizieren, etc. genutzt werden (Chance aus Nutzer:innenperspektive)

Bereits heute werden höherpreisige Autos als Orte der Entspannung und der Ruhe angepriesen. Autonom fahrende Fahrzeuge könnten daher auf komplett anderen Sitzplatzkonzepten basieren und zu mobilen Konferenzorten, Treffpunkten oder Spielstätten werden und neue Geschäftsmodelle mit Fahrzeugen ermöglichen (Chance aus Nutzer:innenperspektive und aus Sicht der Automobilindustrie, Risiko aus verkehrsplanerischer und ökologischer Sicht).

Risiken:

Mit den neuen Nutzungsmöglichkeiten von Fahrzeugen würden auch zusätzliche Fahrten zu Zwecken zurückgelegt, die bisher in anderen (nicht-mobilen) Räumlichkeiten erledigt wurden (Risiko aus verkehrsplanerischer und ökologischer Sicht).



Stellplätze an Wohn- und Arbeitsort

Chancen:

Stellplätze können an Standorten in der Stadt konzentriert werden, an denen sie nicht stören. Straßen und Grundstücke können von ruhendem Verkehr und von Parksuchverkehr entlastet werden und für Aufenthalt, Bewegung und Grün genutzt werden (Chance aus stadtplanerischer Perspektive).

Risiken:

Sofern die derzeitigen Mobilitätsmuster und der derzeitige Fahrzeugbesitz beibehalten werden, wird die Verkehrsleistung aufgrund der leeren Hin- bzw. Rückfahrten zwischen Stellplatz und Ziel der Fahrt zunehmen (Risiko aus verkehrsplanerischer und ökologischer Sicht).

Auch die Multimodalität kann erleichtert werden, da das autonome Fahrzeug seine Nutzer:innen z.B. zum Bahnhof fährt, dort aber nicht geparkt werden muss (Chance aus Nutzer:innenperspektive und verkehrsplanerischer Sicht).

Die Parkraumknappheit als Anschaffungshürde für einen Zweit- oder Drittwagen würde weitgehend entfallen, da das Fahrzeug nicht mehr in fußläufiger Entfernung vom Wohnort oder dem Ziel der Fahrt geparkt werden muss. Die Anzahl der Fahrzeuge in heute schon überlasteten Quartieren würde sich noch weiter erhöhen (Risiko aus stadtplanerischer Sicht, Chance aus Sicht der Automobilindustrie).

Fahrzeuge teilen („Sharing“)

Chancen:

Autonom fahrende Fahrzeuge könnten zu einem Boom von Sharing-Modellen führen, weil die Fahrzeuge automatisch zum Nutzer kommen und damit eine niederschwellige Nutzung von Sharing-Fahrzeugen ermöglichen (Chance aus Perspektive der Nutzer:innen und Mobilitätsdienstleister).

Ein Sharing-Auto kann bereits heute mehrere private Pkw ersetzen. Eine Stärkung von Sharing-Modellen würde zu einer Verkleinerung der Flotte und damit zu einer Entlastung des öffentlichen Raums vom ruhenden Verkehr führen (Chance aus stadtplanerischer Perspektive).

Fahrten von Sharing-Fahrzeugen müssten nicht jedes Mal von und zur Carsharing-Station verlaufen, sondern die Fahrzeuge könnten direkt zum nächstgelegenen Nutzer fahren. Auch eine Bündelung von Fahrten mehrerer Nutzer:innen mit ähnlichem Fahrziel wäre möglich (Chance aus verkehrsplanerischer Sicht).

Risiken:

Mit der niederschweligen Nutzung könnten aber auch weniger auto-affine Nutzer das Auto häufiger zu Lasten des Umweltverbundes nutzen (Risiko aus verkehrsplanerischer und ökologischer Sicht).



Abb. 2:
Geteilte
Fahrzeuge.
Aus:
Mitteregger,
2020, S. 109

ÖPNV

Chancen:

Das Angebot des heutigen ÖPNV ließe sich in vielfältiger Hinsicht erweitern: Schwächer befahrene Linien könnten zeitlich und räumlich flexibler sowie aufgrund der entfallenden Fahrer:innen preisgünstiger angeboten werden. Der ÖPNV würde attraktiver (Chance aus Perspektive der Nutzer:innen und Mobilitätsdienstleister).

Risiken:

Die Grenze zwischen ÖPNV und neuen straßenbasierten Mobilitätsangeboten ist fließend. Diese könnten so attraktiv werden, dass der ÖPNV in seiner heutigen Form nicht mehr finanzierbar wäre und damit auch der SPNV als Rückgrat des Umweltverbundes ausfallen würde (Risiko aus verkehrsplanerischer und ökologischer Perspektive sowie der Perspektive der Mobilitätsdienstleister, Chance aus Perspektive der Automobilindustrie).

Abb. 1:
Autonomes
Fahrzeug mit
Unterhaltungs-
programm. Aus:
Mitteregger,
2020, S. 106

„Die Studie modelliert das Verkehrsgeschehen in Karlsruhe konkret. Die Ergebnisse sind gleichwohl verallgemeinerbar.“

Automatisierungsgrad von Fahrzeugen - Begriffsdefinitionen

Im Folgenden werden die Grundannahmen zur Automatisierung der Fahrzeugflotte dargelegt, wie sie im Projekt AutoRICH angewendet wurden. Die international gängige Definition der unterschiedlichen Automatisierungsgrade von Fahrzeugen beruht auf der Norm SAE J 3016 von der SAE International (ehem. Society of Automotive Engineers). Die SAE unterscheidet sechs Level von 0 bis 5, wobei Level 0 keinerlei Automatisierung und Level 5 ein unter allen Randbedingungen ohne menschlichen Eingriff fahrendes Fahrzeug beschreibt.

In Deutschland hat die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) diese Level in Anlehnung an die SAE definiert (siehe Tabelle unten): Im Projekt AutoRICH wird für das Jahr 2040 die Verfügbarkeit und Verbreitung von Fahrzeugen im „autonomen Modus“, also dem SAE-Level 5 vorausgesetzt. Diese Fahrzeuge sind demnach in der Lage, in allen (Level 5) Situationen auch ohne Fahrer:in den Weg z.B. von einem Parkhaus zur Nutzer:in des Fahrzeugs zurückzulegen. Im Sinne der Lesbarkeit werden allerdings im Folgenden anstelle der Bezeichnung

„Fahren im SAE-Level 5“ bzw. „Fahrzeug des SAE-Levels 5“ die Begriffe „autonomes Fahren“ bzw. „autonomes Fahrzeug“ verwandt.

Was erwartet Sie in dieser Broschüre ... und was dürfen Sie nicht erwarten?

Dargestellt werden die wesentlichen Erkenntnisse aus einer dreijährigen Kooperation zwischen Verkehrsplaner:innen und Verkehrsforscher:innen, Soziolog:innen und Stadtplaner:innen und Informatiker:innen aus Geodäsie und Fahrzeugtechnik mit folgenden Schwerpunkten:

Verändertes Mobilitätsverhalten: AutoRICH konzentriert sich auf die Auswirkungen, die das autonome Fahren für die Städte haben wird sowie das Spektrum an einzelnen Einflüssen, Veränderungen und zu ergreifenden Maßnahmen zur Verkehrssituation für Städte. Die Arbeiten stützen sich dabei nach Literaturrecherchen und daraus resultierenden eigenen Annahmen auf einen fachlich divers zusammengesetzten Expert:innenworkshop, zwei standardisierte Befragungen zur Nutzung des autonomen Fahrens, auf ein Verkehrsmodell für die

Stadt Karlsruhe und auf eine Dialogveranstaltung mit Karlsruher Bürger:innen sowie Gespräche mit der Stadtverwaltung.

Szenarien: Es werden zwei Szenarien untersucht, die sich der Zukunftstechnologie des autonomen Fahrens im Referenzjahr 2040 unter folgenden Kriterien widmen: Einflüsse auf öffentliche Räume sowie den fließenden und ruhenden Verkehr, Zukunftsfähigkeit der Stadt hinsichtlich des Klimawandels und Aspekte des Gemeinwohls.

Die Auswahl der Kriterien resultiert aus den aktuellen Regelwerken zum Klimaschutz auf europäischer, nationaler und Landesebene. Die Betrachtungen werden anhand von vier typischen Straßenräumen illustriert.

Steuerungsinstrumente: Darüber hinaus wird als konkretes Steuerungsinstrument zum Schutz von Streckenabschnitten vor zu hohen Verkehrsdichten eine B.W.-Cloud-basierte Server-Client-Software zur Verkehrsplanung für autonomes Fahren entwickelt.

Interaktion autonomer Fahrzeuge mit dem Fußgängerverkehr Als weiterer zentraler Baustein wird die Interaktion zwischen autonom fahrenden Verkehrsmitteln und dem Fußverkehr gesehen. Hierzu werden auf Basis von Verhaltensanalysen im Straßenverkehr und einer Probandenstudie Vorschläge für die Verhaltensweisen autonomer Fahrzeuge in abstimmungsintensiven Straßen erstellt.

Jeder der genannten Forschungsteile wurde in engem fachlichen Austausch miteinander durchgeführt, der sich als sehr fruchtbar erwies und jeweils zusätzliche Perspektiven in die verschiedenen Disziplinen brachte. Dieser Austausch wurde vor allem durch die Soziolog:innen und die Verkehrsplaner:innen moderiert. Die Stadt Karlsruhe wird als Untersuchungsraum

gewählt, weil alle für die Forschungsfrage(n) in AutoRICH relevanten Daten gut verfügbar sind, die Verkehrsplanenden und -forschenden bereits seit Jahren mit diesen Daten arbeiten, sie teilweise selbst erhoben haben, mit allen Besonderheiten der Stadt vertraut sind und auch das Interesse der Stadtverwaltung (Stadtplanungsamt) an einer solchen Untersuchung besteht. Die Ergebnisse sind jedoch in ihren Grundaussagen auf andere Städte (große wie kleine) übertragbar und insofern verallgemeinerbar. Auch die Straßenräume stehen für Straßentypen, wie sie ähnlich in den meisten europäischen Städten zu finden sind.

Berücksichtigte Aspekte

In der Modellierung des Verkehrs in Karlsruhe werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Eigentumsverhältnisse der Fahrzeuge: Eigentum (Privatwagen), geteilte Fahrzeuge (Carsharing) oder geteilte Fahrten (Ridepooling),
- Zahl der zugelassenen Kfz in Karlsruhe,
- Größe und Lage von Parkplätzen, damit auch Länge der Leerfahrten,
- Straßennetz und zulässige Höchstgeschwindigkeiten,
- Wachstum der Bevölkerung und der Gebiete, in denen diese wohnen wird.

Nicht in der Modellierung berücksichtigt wurde:

- die veränderte Versorgungsstruktur etwa für die Nahversorgung,
- Veränderungen durch Corona: Auswirkungen des Home-office/ Distance Learning an den (Hoch-) Schulen, Suburbanisierung des Wohnens usw.,
- der wachsende Online-Versandhandel. Dieser Sektor des Verkehrs ändert sich sehr dynamisch. Eine klare Bilanz (mehr oder weniger Fahrten als Resultat?) lässt sich nur schwer absehen. Die Citylogistik wird nicht speziell in ihrer Dynamik für das Verkehrsgeschehen in der Stadt untersucht.

Übersicht über die Automatisierungsstufen nach BASt

Tabelle 1

Level	Fahrzeugfunktion	Einteilung durch die BASt
0	Warnfunktionen, kurzzeitiger Eingriff (z.B. Notbremsassistent)	Assistierter Modus
1	Unterstützung bei Lenkung ODER bei Bremsung / Beschleunigung	
2	Unterstützung bei Lenkung UND Bremsung / Beschleunigung	
3	Zeitweises Fahren ohne Fahrer:in unter bestimmten Bedingungen (z.B. Staupilot)	Automatisierter Modus
4	Fahren ohne Fahrer:in unter den meisten Randbedingungen	Autonomer Modus
5	Fahrzeug kann überall und unter allen Randbedingungen ohne Fahrer:in fahren	

→ Annahme: Ein Teil der Autos fährt 2040 autonom (Level 5).

Weitere Annahmen

Wir gehen außerdem von folgenden Annahmen aus:

Die rechtlichen, technischen und ethischen Fragen sind geklärt, also Fragen der Datensicherheit, sowie insbesondere der Haftungsfragen.

Marktreife von autonomen Fahrzeugen ist gegeben, nicht jedoch eine Marktdurchdringung. Vorher wird es vermutlich ein „Langes Level 4“ (vgl. Avenue21 (Mitteregger, 2020)) geben, also einen langen Zeitraum, in dem einzelne Funktionen des Fahrzeugs automatisiert werden, es sich jedoch nicht vollkommen ohne menschliches Eingreifen im Verkehr bewegt.

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben, ab wann die Technologie des autonomen Fahrens voraussichtlich marktreif und verfügbar sein und eine nennenswerte Marktdurchdringung stattgefunden haben wird. Während mehrere Studien die Verfügbarkeit der neuen Technologie um 2030 sehen (vgl. Klein & Altenburg, 2019, S. 168)

kommen andere bzgl. der Marktdurchdringung zum Schluss, dass um 2040 ein nennenswerter Anteil autonomer Fahrzeuge auf den Straßen zu erwarten ist (Bazilinskyy, 2019, S. 193).

Es wird unterstellt, dass autonome Fahrzeuge in allen Situationen fahrerlos und immer verkehrssicher fahrend auf dem Markt sind.

Der Prognosehorizont von AutoRICH ist das Jahr 2040. Es wird davon ausgegangen, dass die Technologie des autonomen Fahrens nach einer Einführungsphase vom überwiegenden Anteil der Bevölkerung akzeptiert wird. Dies wird auch durch unsere Befragung (s. „Autonomes Fahren und individuelle Nutzungsabsichten“ ab S. 13 ff.) bestätigt. Höhere Verkehrsdichten, wie sie bei einer vollständigen Marktdurchdringung aufgrund der Sensorik und der Kommunikation mit anderen Fahrzeugen denkbar wären, werden als Konsequenz des Mischverkehrs nicht angenommen. Getrennte Fahrspuren für autonome und manuell gesteuerte Fahrzeuge könnten den Mischverkehr zwar weitge-

Abb. 3:

Expert:innen-
gespräch mit
Vertreter:innen
der Bereiche
Güterlogistik,
Marktforschung,
Mobilitätszukünfte,
ÖV-Anbieter, Stadt-
planung, Technik-
geschichte und
Verkehrsplanung
im September
2019



Abb. 4:

EVA-Shuttle auf
dem Testfeld
Karlsruhe. Quelle:
KVV. <https://www.kvv.de/mobilitaet/eva-shuttle.html>.
Abgerufen am:
12.02.2022

hend entflechten, sie erscheinen im vorhandenen Straßenraum jedoch weder umsetzbar noch wünschenswert.

Der öffentliche Personenverkehr wird sich absehbar deutlich verändern. Bereits heute wird vielerorts – auch in Karlsruhe – mit Kleinbussen (Shuttles) experimentiert, die eine Vorstufe zum fahrerlosen Fahrzeug darstellen. Es wird angenommen, dass der öffentliche Verkehr sein Gesicht insbesondere in den Quartieren verändern wird: Erwartet werden mehr dezentrale Haltepunkte, die bei Bedarf angefahren werden und Kleinbusse, die sich ihre Strecke aufgrund der Anforderungen ihrer Kund:innen jeweils zusammenstellen. Diese Trends werden angenommen, können aber mit dem eingesetzten makroskopischen Verkehrsmodell nur mit hohen Unschärfen abgebildet werden. Das Modell ist jedoch hinreichend genau, um Zu- oder Abnahmen von Kfz-Fahrten getrennt nach Wegezwecken auf dem Streckennetz der Stadt abzubilden. Damit steht eine gut verständliche Darstellung der Verkehrsstärken auf dem Straßennetz zur Verfügung.

Karlsruhe kurz vorgestellt

Bekannt als „Fächerstadt“ und Sitz des Bundesgerichtshofs und Bundesverfassungsgerichts, liegt die 1715 gegründete, barocke Planstadt gut an-

gebunden an überregionale Autobahn- und Schienenstrecken entlang der Rheinschiene im Norden Baden-Württembergs. Als „kleine Großstadt“ mit etwas mehr als 300.000 Einwohner:innen ist Karlsruhe, abgesehen vom Industrie- und Raffineriestandort Rheinhafen, eine überwiegend mittelständisch geprägte Stadtregion, die neben ihrer Historie als Beamten- und Residenzstadt gegenwärtig vor allem als prosperierender Technologie- und Wissenschaftsstandort mit vielen namhaften Hochschulen und Forschungseinrichtungen von sich reden macht. Vorreiter ist Karlsruhe ebenfalls bei der Verkehrswende: Der Anteil des Fuß- und Radverkehrs macht zusammengekommen fast die Hälfte des Verkehrsaufkommens aus (24 % und 23 %; MiD, 2018); der ADFC kürte Karlsruhe in den vergangenen Jahren schon mehrfach zur fahrradfreundlichsten Stadt Deutschlands. Eine fortlaufende Förderung des Fuß- und Radverkehrs ist im städtischen Verkehrsentwicklungsplan festgeschrieben, auch das Carsharing-Angebot ist deutschlandweit das am besten ausgebaute (bcs, 2019).

Das Stadtklima ist, trotz geografischer Nähe zum Rhein und eines verhältnismäßig hohen städtischen Grünanteils, durch starken sommerlichen Hitzestress gekennzeichnet.

Jan Riel, Kerstin Gothe, Lisa Matzdorff

AUTONOMES FAHREN UND DAS GEMEINWOHL

AutoRICH untersuchte die autonome Fahrzeugtechnologie im Kontext der Leitprinzipien in den Bereichen Sicherheit, Nachhaltigkeit, Gemeinwohl und soziale Gerechtigkeit. Orientierung bot dabei die Studie der Non-Profit-Organisation National Association of City Transportation (NACTO, 2019, S. 10). Diese Studie bezieht sich vor allem auf folgende dort unter anderem formulierte Ziele:

Sicherheit:

- die Zahl der Verkehrstoten verringern,
- das subjektive Sicherheitsempfinden stärken.

Nachhaltigkeit:

- den Kohlenstoffausstoß reduzieren,
- gefahrene Kilometer reduzieren,
- Folgen des Klimawandels berücksichtigen (Hitze stress, Überschwemmungen),
- Lärm und Schadstoffe reduzieren.

Soziale Gerechtigkeit und Gemeinwohl:

- Menschen priorisieren, die zu Fuß gehen, Fahrrad fahren, den ÖV benutzen,
- Menschen mit Behinderungen berücksichtigen,
- mehr Raum für Bewegung, Grün und Versickerung in den Straßenräumen vorsehen,
- den Zugang zu Mobilität, Wohnen, Arbeitsplätzen und Bildungsangeboten für Angehörige aller sozialen Schichten erreichbar und leistbar machen.

Diese Prinzipien müssen bei der Einführung einer neuen Technologie wie dem autonomen Fahren berücksichtigt werden. Es handelt sich um eine Aufgabe der politischen Entscheider:innen in Bund, Ländern und Kommunen, sie müssen diesen Prozess (mit-)steuern. Dieser Aspekt kommt in der derzeit stark technologiegetriebenen Diskussion um das autonome Fahren manchmal zu kurz.

Ein wichtiges Instrument in den Kommunen ist dabei die Verteilung verschiedener Verkehrsarten auf die öffentlichen Flächen: Kommunen müssen heute sicherstellen, dass Flächen so verteilt und gestaltet werden, dass die Ziele öffentlicher Daseinsvorsorge und gesellschaftlicher Teilhabe auch in Zukunft gefördert werden. Eine Flächeninanspruchnahme für autonome Verkehre muss diesen Prinzipien unterstehen und im Sinne einer nachhaltigen, effizienten, leistbaren Mobilität zum Erreichen dieser Ziele beitragen.

Mit der Fragestellung, wie sich das autonome Fahren und damit einhergehende Flächenansprüche in die Städte einfügen lassen und unter welchen Bedingungen es zu einer Entwicklung wie oben beschrieben beitragen kann, wird die Transformation vom anderen Ende her gedacht.

Denn die Zukunft wird von den Entscheidungen abhängen, die wir heute treffen. Städte dürfen nicht warten, bis automatisierte Fahrzeuge auf den Markt drängen, sondern sie müssen diese Entwicklungen aktiv mitgestalten. Städte können die Gestalt ihres Straßenraumes verändern und Mobilität, Lebensqualität und Lebendigkeit der Städte deutlich verbessern. Sie sollten damit jetzt beginnen.

Jan Riel, Kerstin Gothe, Lisa Matzdorff

AUTONOMES FAHREN UND INDIVIDUELLE NUTZUNGS-ABSICHTEN

Es war Anspruch des Projektes, die Perspektive der Nutzer:innen einzubeziehen. Dies geschah auf verschiedenen Wegen:

- Befragungen zu den Mobilitätsentscheidungen,
- ein Dialog mit Bürger:innen des Nachbarschaftsverbands Karlsruhe über die ersten Ergebnisse der Szenarien und ihre Auswirkungen auf die Stadt (vgl. S. 46 ff.). Die Ergebnisse dieser Beteiligungsformate werden auf den blauen Seiten dieser Broschüre dargestellt.

In einer Online-Befragung im Jahr 2020 wurden in zwei aufeinander folgenden Erhebungen die individuellen Einstellungen und Vorstellungen zum autonomen Fahren erfragt (n = 1.754). Daran schloss sich eine Befragung an zur Bereitschaft der Teilnehmenden ggf. längere Wege und damit eine größere Fahrtdauer in Kauf zu nehmen (n = 1.637). Bei der Vorbereitung der Umfragen wurde auf eine möglichst repräsentative Verteilung der Befragten nach Merkmalen wie Alter und Geschlecht, aber auch der Größe des Wohnortes geachtet. Auf diese Weise sind die Studienergebnisse auf andere Städte oder Regionen übertragbar.

Beide Umfragen kommen zu sehr ähnlichen Ergebnissen, im Folgenden werden lediglich zentrale Ergebnisse der Umfrage 1 zu Mobilitätsentscheidungen dargestellt. Lediglich die letzte Frage wird mit Daten aus Umfrage 2 beantwortet.

Die Ergebnisse im Überblick

Generelle Absicht zur Nutzung autonomer Fahrzeuge

Mehr als die Hälfte der Befragten (55 %) gaben an, dass sie sich grundsätzlich die Nutzung eines autonomen Fahrzeuges vorstellen können - unabhängig von der Nutzungs- bzw. Besitzform der Fahrzeuge als Privatwagen oder geteiltes Fahrzeug.

Präferenz der Nutzungsformen autonomer Fahrzeuge

Im nächsten Schritt wurden den Teilnehmer:innen drei verschiedene Besitz- bzw. Nutzungsformen vor- bzw. zur Auswahl gestellt:

Nutzung als autonome Privatfahrzeuge (Eigenbesitz):

- Fahrzeuge bringen die Nutzer:innen zum gewünschten Ziel und können leer zurückfahren (gemeinsame Nutzung in der Familie oder im Haushalt).
- Das autonome Fahrzeug sucht seinen Parkplatz eigenständig.
- Fahrzeuge sind neu und gebraucht zu ähnlichen Preisen wie heutige Autos verfügbar.

Nutzung als autonome Carsharing-Fahrzeuge (alleinige Fahrt oder mit Freunden/ Familie):

- Sie sind vergleichbar mit dem heutigen Carsharing, allerdings holt das autonome Fahrzeug die Nutzer:innen am gewünschten Abfahrtsort ab.
- Die Fahrzeuge werden per App gerufen.
- Die Nutzung eines autonomen Carsharing-Fahrzeugs ist ähnlich teuer wie die Nutzung heutiger Carsharing-Angebote.

Nutzung als autonome Ridepooling-Fahrzeuge (Robo-Shuttles):

- Das autonome Fahrzeug holt die Nutzer:innen am gewünschten Abfahrtsort ab.
- Die Fahrzeuge werden per App gerufen.
- Es kann von mehreren Passagieren mit ähnlichen Zielen gleichzeitig benutzt werden (Routenoptimierung, kleine Umwege für einzelne Passagiere).
- Die Fahrpreise sind vergleichbar mit den heutigen Ticketpreisen des ÖPNV.

„Mehr als die Hälfte der Befragten (55 %) gab an, dass sie sich grundsätzlich vorstellen kann, ein autonomes Fahrzeug zu nutzen, die Hälfte davon auch als Car-Sharing- oder Ride-Pooling- Fahrzeuge.“

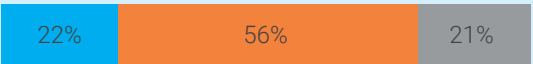
Tabelle 3
(rechte Spalte)

In der Umfrage wurden Ridepooling-Fahrzeuge als „Robo-Shuttles“ bezeichnet, wir verwenden jedoch wie in den anderen Teilen der Broschüre den Begriff „Ridepooling“-Fahrzeug.

In Umfrage 1 wurde die Verteilung von Fahrten mit den verschiedenen Nutzungsformen autonomer Fahrzeuge über die Abfrage beabsichtiger Wege ermittelt.

Präferenz der Nutzungsform bei Befragten, die autonomes Fahren nutzen wollen

n = 960 Personen



- Autonomes Carsharing
- Eigenes autonomes Fahrzeug (Privatbesitz)
- Robo-Shuttle (ÖV-ähnlich)

Tabelle 4
(rechte Spalte)

Mehr als die Hälfte der Befragten zeigt eine deutliche Präferenz für die Nutzung eines (autonomen) Privatfahrzeugs. Autonomes Carsharing und Ridepooling verteilen sich auf die zweite Hälfte. Auf diese Aussagen stützt sich die Annahme 50% Carsharing / 50 % Ridepooling in den Szenarien ‚Sharing‘.

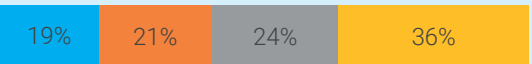
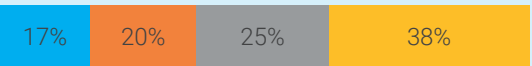
Alter

Die Altersverteilung der Umfragen weicht nur geringfügig von der Altersverteilung der Gesamtgesellschaft ab. Es zeigt sich: Jüngere sind eher bereit, autonome Fahrzeuge zu nutzen, die Bereitschaft nimmt mit steigendem Alter ab. Die Angaben der Teilnehmenden zu ihrem heutigen und zukünftigen Mobilitätsverhalten in den verschiedenen Altersgruppen wurden entsprechend ihres tatsächlichen Anteils in der Bevölkerung gewichtet.

Bereitschaft zur Nutzung autonomer Fahrzeuge nach Größe des Wohnortes

Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Bereitschaft zur Nutzung eines autonomen Fahrzeugs und der Größe des Wohnortes? Die Befragung

zeigt: Nein, in kleinen Orten ist diese Bereitschaft im selben Maße vorhanden wie in großen Städten.



- Dorf (unter 5.000 EW)
- Kleinstadt (5.000 bis unter 20.000 EW)
- Mittelgroße Stadt (20.000 bis unter 100.000 EW)
- Großstadt (ab 100.000 EW)

oben: nur Teilnehmer, welche autonomes Fahren nutzen wollen, n = 957; unten: alle Umfrageteilnehmer, n = 1.751

Bereitschaft zur Nutzung autonomer Fahrzeuge und Zentralität im Wohnort

Es spielt für die Bereitschaft zum autonomen Fahren offensichtlich auch keine Rolle, ob die Befragten im Zentrum eines Ortes/ einer Stadt oder eher außerhalb wohnen.



- außerhalb / abgelegen
- eher am Rand
- im Zentrum

oben: nur Teilnehmer, welche autonomes Fahren nutzen wollen, n = 955; unten: alle Umfrageteilnehmer, n = 1.747

Nutzung autonomer Fahrzeuge nach Qualität der ÖPNV-Anbindung und Wohnortgröße

Die Beurteilung des ÖV-Angebotes ist bei der Gesamtheit der Befragten ähnlich wie bei denen, die autonome Fahrzeuge nutzen würden. Es gibt also keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen einem schlechten ÖV-Angebot und der Bereitschaft zum autonomen Fahren (s. Tabelle 6).

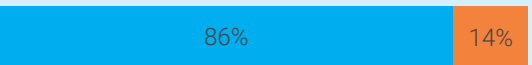
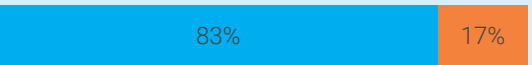
Bereitschaft zum autonomen Fahren nach Führerscheinbesitz und Autoverfügbarkeit

Insbesondere vor dem Hintergrund, dass autonomes Fahren häufig als Ergänzung oder Erweiterung des ÖPNV diskutiert wird, könnte man erwarten, dass Personen ohne Autoverfügbarkeit ein höheres Interesse an den neuen Mobilitätsoptionen haben. Die Umfrageergebnisse lassen diesen Schluss nicht zu: Wer kein Auto hat oder nur eingeschränkt darüber verfügt, hat den Wunsch zur Nutzung autonomer Fahrzeuge nicht häufiger als die Personen mit Zugriff auf ein Auto. Ähnlich sieht es mit der Verfügbarkeit eines privaten Autos aus. Diese Tendenz besteht in allen Altersgruppen.

Wie sich die Wege in Anzahl und Länge durch das autonome Fahren verändern sowie bei welchen Altersgruppen und Wegezwecken, ist bedeutsam für die Ausgestaltung der Szenarien. Diese Umfrageergebnisse werden daher im zweiten Teil im Absatz „Mobilitätsverhalten: Wegehäufigkeiten und Wegelängen“ dargestellt (S. 35).

Bereitschaft zum autonomen Fahren nach Führerscheinbesitz

Tabelle 5



- ja
- nein

oben: nur Teilnehmer, welche autonomes Fahren nutzen wollen, n = 954; unten: alle Umfrageteilnehmer, n = 1.748

Akzeptanz längerer Fahrzeiten

In einer weiteren Umfrage wurden die Teilnehmende befragt, ob sie längere Fahrzeiten akzeptieren würden, wenn der Weg in einem autonomen Fahrzeug zurückgelegt würde. Sie gaben an, längere Fahrtauern zwischen 10 % und 18 % zu akzeptieren. Auch diese Werte sind Grundlage für die Modellierung der Verkehrsmengen auf dem Karlsruher Straßennetz.

Jan Riel, Tim Reuber, Felix Albrecht, Alexa Maria Kunz, Josua Sequenz

Nutzung autonomer Fahrzeuge nach Qualität der ÖPNV-Anbindung und Wohnortgröße

Tabelle 6

	Gut (lange Betriebszeit, enger Takt, mehrere Linien, Haltestelle gut erreichbar)		Mittelmäßig (zu bestimmten Zwecken kann man den ÖV nutzen, toll ist es nicht)		Schlecht (kein oder nur sehr eingeschränktes Angebot)	
Wohnort	Alle Befragten	Nutzer:innen autonomer Fahrzeuge	Alle Befragten	Nutzer:innen autonomer Fahrzeuge	Alle Befragten	Nutzer:innen autonomer Fahrzeuge
Dorf	14 %	11 %	48 %	49 %	38 %	40 %
Kleinstadt	30 %	26 %	52 %	57 %	18 %	16 %
Mittelgroße Stadt	45 %	40 %	45 %	48 %	9 %	11 %
Großstadt	80 %	80 %	18 %	18 %	2 %	3 %
Gesamt	49 %	48 %	38 %	39 %	14 %	14 %

nur Teilnehmer, welche autonomes Fahren nutzen wollen: n = 960; alle Umfrageteilnehmer: n = 1.754



AUTONOMES FAHREN:

WAS KOMMT AUF UNSERE STADT ZU?

SZENARIEN FÜR DAS JAHR 2040

Was sind und wozu dienen Szenarien?

Szenariokonstruktionen beschreiben Möglichkeiten der Zukunftsentwicklung, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten können. „Ein Szenario ist ein vereinfachendes Konstrukt, das einen möglichen Weg in die Zukunft sowie einen möglichen zukünftigen Zustand beschreibt“ (Hradil, 2012).

„Szenarien sind weder Prognosen, die sich lediglich auf quantitative Informationen aus Vergangenheit und Gegenwart beziehen, noch utopische Phantasien, wie sie z.B. in einer Zukunftswerkstatt entstehen. Die Szenariotechnik verbindet vielmehr quantitative Daten und Informationen mit qualitativen Informationen, Meinungen und Einschätzungen. Das Resultat ist eine detaillierte Beschreibung einer oder mehrerer möglicher Zukunftssituationen unter ganzheitlichem Aspekt“ (Thiesen 1999, S. 58). Klassischerweise wird der Szenariotrichter zwischen zwei Extremszenarien aufgespannt, „welche die komplette Spannweite möglicher Entwicklungen abdecken sollen“ (ebd.).

„Szenarien sollen dazu anregen, sich mit diesen möglichen künftigen Entwicklungsprozessen und Gegebenheiten auseinanderzusetzen und diese zu bewerten. Dazu hilft auch, die Folgeerscheinungen und Wechselwirkungen möglicher zukünftiger Zustände auszuloten. Schließlich sollten Szenarien helfen, die Ziele und Maßnahmen zu klären, die geeignet erscheinen, gewünschte künftige Gegebenheiten herbeizuführen oder aber unerwünschte künftige Zustände nicht entstehen zu lassen“ (Hradil, 2012).

Eine Reihe von Studien zum autonomen Fahren setzen bereits Szenarien als Instrument ein. Es lassen sich zwei Szenarien identifizieren, die in den meisten Publikationen so oder ähnlich immer wieder umrissen werden. Zwei (von drei) Szenarien werden hier beispielhaft vorgestellt, die in der Studie „Avenue21“ entwickelt wurden:

- Das „*marktgetriebene Szenario*“ setzt auf die Selbstregulierung der freien Marktwirtschaft und vertraut darauf, zentrale Herausforderungen durch rasch umsetzbare, technologische Innovationen und hohe Wettbewerbsfähigkeit zu lösen. Eine politische Steuerung wird dabei eher als hinderlich gesehen und besteht demnach im Wesentlichen darin, neue Geschäftsmodelle in der Mobilität zu ermöglichen und rechtliche Barrieren im globalen Standortwettbewerb abzubauen (Mitteregger, 2020, S. 106).
- Im „*politikgetriebenen Szenario*“ unterstehen alle Entscheidungsprozesse einschließlich der Förderung automatisierter Fahrzeugtechnologie der Gemeinwohlorientierung und dem Zugang zu leistbarer Mobilität als öffentliche Daseinsvorsorge. Automatisierte und vernetzte Verkehrsmittel und -dienste dienen der sinnvollen Ergänzung eines leistungsstarken, hierarchisch aufgebauten ÖV, beispielsweise in der Andienung von Knotenpunkten, auf der ersten und letzten Meile (ebd., S. 114).

Diese beiden Szenarien wurden für Karlsruhe modifiziert, präzisiert und weiterentwickelt.

„Entwickelt werden zwei Szenarien, die beide von 60% autonomen und 40% konventionellen Kfz im Jahr 2040 ausgehen.“

Grundhaltung der Szenarien in AutoRICH

Es werden zwei vorstellbare Entwicklungen aufgezeigt, die im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren eintreten können: Die beiden Szenarien unterscheiden sich vor allem hinsichtlich Fahrzeugbesitz, Größe der Fahrzeugflotte, Parkierung, Gestaltung des öffentlichen Raums und der Umsetzung des Sharing-Konzeptes.

Im Szenario ‚Trend‘ ist die Entwicklung von marktwirtschaftlichen Interessen und individuellem, komfortablem Fahren geprägt. Bestehende Gewohnheiten werden beibehalten und aufgrund der neuen Möglichkeiten, die das autonome Fahren mit sich bringt, ggf. noch verstärkt.

Im Szenario ‚Sharing‘ dagegen kommt es zu Trendbrüchen: Politikgetriebene Maßnahmen verändern das Mobilitätsverhalten im Sinne des Gemeinwohls, die Mobilität wird anders organisiert, es muss aber grundsätzlich kein Verzicht geübt werden. Sharing-Modelle gewinnen an Attraktivität, weil ein geteiltes autonomes Fahrzeug nahe ans Haus bestellt werden kann. Außerdem ist ein relevanter Teil der Gesellschaft dazu bereit, das eigene Verhalten im Sinne der Nachhaltigkeit zu ändern. Es ist in diesem Kontext plausibel, dass auch der Sharing-Trend, bei dem Dinge mit anderen geteilt werden statt sie selbst zu besitzen, das Potenzial hat, in den allgemein anerkannten Verhaltens- und Wertekodex unserer Gesellschaft integriert zu werden.

Szenario ‚Trend‘

- Autonome Fahrzeuge sind (unreguliert) als *Privatfahrzeuge* käuflich. Der Privatwagen genießt weiterhin hohen Stellenwert.
- Die Verfügbarkeit eines Parkplatzes „vor der Tür“ entfällt als Hürde für die Anschaffung eines Pkw. Die *Fahrzeugflotte* wächst, da Fahrzeuge selbstständig weiter entfernt liegende Parkstände anfahren können.
- Der Flottenzuwachs muss überwiegend in *zusätzlichen (Groß-)Garagen* im Stadtgebiet untergebracht werden.
- Der öffentliche Raum bleibt in seiner derzeitigen Nutzungsform erhalten. Der fließende und ruhende Verkehr beansprucht den größten Teil der Fläche.
- Sharing-Anbieter kooperieren nicht, Sharing-Angebote aller Ausprägungen bleiben *Nischenprodukte*.

Szenario ‚Sharing‘

- Autonome Fahrzeuge werden nur als *geteilte Fahrzeuge* zugelassen. Ausnahmen bestehen für Menschen mit Behinderung.
- Das Mobilitätsbedürfnis der Bewohner kann mit einer deutlich *kleineren Fahrzeugflotte* befriedigt werden.
- Die *Straßenräume* können teilweise von parkenden Autos befreit werden.
- Der *öffentliche Raum* wird transformiert. Flächen werde zu Gunsten von Begrünung, Aufenthaltsqualität und Klimaanpassung sowie zum Liefern und Laden neu verteilt.
- Autonome Fahrzeuge werden als Carsharing- und Ridepooling-Fahrzeuge betrieben. Das *zentrale Fahrtenmanagement* durch den Verkehrsverbund ermöglicht einen optimalen Fahrzeugeinsatz.

Details der Szenarien im Vergleich

Einflussfaktor	Szenario ‚Trend‘	Szenario ‚Sharing‘
Bevölkerungsentwicklung	Die Stadt wächst um 27.000 EW auf 340.000 EW	
Straßennetz und Höchstgeschwindigkeit	Das Netz der vier- und mehrstreifigen Straßen und die heutigen Temporegelungen bleiben bestehen. Radschnellverbindungen werden überwiegend additiv zum bestehenden Straßennetz und nicht zu dessen Lasten ausgebaut.	Tempo 30 wird Regelgeschwindigkeit auf den Hauptstraßen, Tempo 20 in den Quartieren. Mehrere vierstreifige Straßen werden zu zweistreifigen Straßen zurückgebaut, dort werden Radwegverbindungen eingerichtet.
Marktdurchdringung	60 % der Karlsruher:innen nutzen autonome Fahrzeuge, 40 % nutzen weiterhin manuell gesteuerte Fahrzeuge (= 56.000 Fahrzeuge).	
Zahl der autonomen Fahrzeuge	60 % der Karlsruher:innen nutzen autonome Fahrzeuge als private Fahrzeuge. Diese können sich Wohnort-fern selbstständig einen freien Stellplatz suchen. Die Anschaffungshürde „Parkraum“ für ein Kfz entfällt. Die Flotte der autonomen Fahrzeuge wächst um 16.000 Fahrzeuge auf 100.000 Fahrzeuge an.	60 % der Karlsruher:innen nutzen autonome Fahrzeuge, allerdings als geteilte Fahrzeuge (Ersetzungsfaktor 1:8 für Carsharing-Fzg. / 1:10 für Ridepooling-Fzg.). Je nach Carsharing-/ Ridepooling-Anteil werden also 8.400 bis 10.500 Fahrzeuge benötigt (i. M. 10.000 Fahrzeuge). Die Fahrzeugflotte dieser Gruppe schrumpft um 74.000 auf ca. 10.000 Fahrzeuge .
Größe der Kfz-Flotte	156.00 Kfz	66.000 Kfz
Parkraum	Der Parkdruck steigt. In innenstadtnahen Wohngebieten nähert sich die Pkw-Dichte von derzeit 367 Pkw / 1.000 EW dem Niveau am Stadtrand an (ca. 515 Pkw / 1.000 EW). Es sind zusätzliche (automatische) Parkhäuser für einen Großteil der 16.000 zusätzlichen Fahrzeuge erforderlich.	In innenstadtnahen Wohngebieten halbiert sich die Zahl der Stellplätze im öffentlichen Raum, am Stadtrand wird sie um 70 bis 80 % reduziert. In ehemaligen Garagen werden multifunktionale und multimodale Quartiers-Hubs mit verschiedenen Services eingerichtet.
Öffentlicher Raum	Der öffentliche Raum bleibt im Wesentlichen so wie heute, der Parkdruck wird eher größer.	Der öffentliche Raum wird vom ruhenden Verkehr entlastet. Es gibt mehr Flächen für Aufenthalt, Entsiegelung, Begrünung sowie Radmobilität und Flex-Zonen am Fahrbahnrand zum Liefern und Laden. Die Baukosten sinken. (weniger Garagen und Stellplätze).

Tabelle 7

„Besitz- und Nutzungsform der autonomen Fahrzeuge sind der Schlüssel für die Unterschiede der Szenarien.“

Erläuterungen zur Tabelle auf Seite 19

Bevölkerungsentwicklung

Grundlage für die Studie ist die Prognose des Amtes für Stadtentwicklung Karlsruhes für das Jahr 2035 (sog. „verhaltenes“ Szenario (Stadt Karlsruhe, 2016)). Die Bevölkerungszunahme um 25.000 EW wird (zusammen mit ca. 2.000 zusätzlichen EW in weiteren Entwicklungspotenzialen) räumlich auf die verfügbaren Siedlungsflächen verteilt. Die Bevölkerung wächst von 313.000 um 27.000 auf ca. 340.000 EW. Auch Strukturdaten zur Nutzungsmischung, Angaben zu Einwohner:innen, Arbeitsplätzen, Angeboten für Bildung, Einkauf, Freizeit etc. werden im Verkehrsmodell berücksichtigt. Insgesamt setzt Karlsruhe seinen Weg zur Förderung des Umweltverbundes fort. Rad-, Fuß- und ÖPNV-Angebote werden attraktiver und sorgen für eine Verschiebung des Modal Split hin zum Umweltverbund. Diese Entwicklung wirkt der Zunahme des Autoverkehrs durch die Zunahme der Bevölkerung entgegen.

Straßennetz und Höchstgeschwindigkeit

In beiden Szenarien wird vom Straßennetz aus dem Jahr 2020 ausgegangen. Vom Bau großer Straßenbauvorhaben mit überwiegender Finanzierung durch den Bund (zweite Rheinbrücke, Lückenschluss zur B36, Südumgehung Hagsfeld) wird

wegen der Kosten der Corona-Pandemie und einer neuen Abwägung der Klimabelange nicht mehr ausgegangen.

Im Szenario ‚Trend‘ werden die Höchstgeschwindigkeiten wie 2020 beibehalten. Im Szenario ‚Sharing‘ wird der Kfz-Verkehr verlangsamt: Tempo 30 wird als Regelgeschwindigkeit auf den Hauptstraßen und Tempo 20 in den Quartieren ausgewiesen. Mehrere vierstreifige Straßen werden zu zweistreifigen Straßen zurückgebaut.

Marktdurchdringung autonomer Fahrzeuge

Bei der Marktdurchdringung autonomer Fahrzeuge wird Bezug genommen auf die Literatur, in der jedoch große Spannweiten für eine Verfügbarkeit und Marktdurchdringung autonomer Fahrzeuge diskutiert werden (vgl. Klein & Altenburg, 2019), sowie auf eigene Befragungsergebnisse (s. „Autonomes Fahren und individuelle Nutzungsabsichten“, S. 13 ff und S. 35). Für beide Szenarien in AutoRICH wird davon ausgegangen, dass 60 % der Karlsruher:innen mit autonomen Fahrzeugen unterwegs sein werden und 40 % weiterhin manuell gesteuerte Fahrzeuge nutzen. Es wird weiterhin unterstellt, dass auch nur die 60 % der Bewohner:innen ihr Mobilitätsverhalten verändern, die von der neuen Technologie Gebrauch machen. Die verbleibenden 40 % verändern Verkehrsmittel-

Abb. 5 (links): Vorrangstraßennetz mit Höchstgeschwindigkeiten im Szenario ‚Trend‘

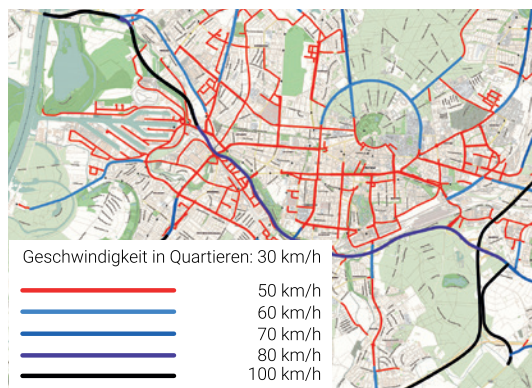


Abb. 6 (rechts): Vorrangstraßennetz im Szenario ‚Sharing‘



Geteilte Fahrzeuge - Begriffsdefinitionen

Carsharing-Fahrzeuge sind nicht im Besitz einer Privatperson, sondern werden von einem Unternehmen (privat oder öffentlich) betrieben. Sie können nach einer Registrierung von jedem gebucht und genutzt werden. Ausnahmen bestehen für Menschen mit Behinderung. Carsharing-Fahrzeuge können abwechselnd von vielen verschiedenen Personen genutzt werden und sind damit im Durchschnitt wesentlich häufiger in Benutzung als Privatwagen. Beim Carsharing mit autonomen Fahrzeugen ist der Vorteil, dass der Fußweg zum Fahrzeug entfällt: Das Auto kommt selbständig zum Nutzenden und kann direkt nach Ende der Tour von einer:nen neuen Nutzer:in gebucht werden.

Beim *Ridepooling* wird nicht nur das Auto, sondern auch die Fahrt mit anderen geteilt (s. Abb. 37 „Ridepooling-Tour“, S. 44 f). Wie bei Konzepten, die bereits durch Anbieter wie Uber bekannt sind, geben die Nutzer:innen (z.B. per App) Quelle, Ziel und gewünschten Zeitpunkt der Fahrt ein. Mit dem Ride-

pooling verschwimmen die Grenzen zwischen dem individuellen Verkehr (individuelle Wahl von Quelle und Ziel) und öffentlichem Verkehr (gleichzeitige Nutzung durch andere Fahrgäste). Die öffentliche Komponente, das Teilen der Fahrt mit unbekannten Fahrgästen, macht das Ridepooling gegenüber dem Carsharing weniger attraktiv und komfortabel, dafür aber kostengünstiger.

Ein zentrales Fahrten- und Flottenmanagement durch die Verkehrsbetriebe ist eine wesentliche Voraussetzung für einen kostengünstigen Betrieb der autonomen und geteilten Services. So ist gewährleistet, dass alle eingehenden Fahrtwünsche in einem Gesamtsystem verarbeitet werden und optimal auf die Fahrzeuge verteilt werden können. Die Fahrten müssen dabei nicht zwingend vom Verkehrsverbund selbst durchgeführt werden, sondern können durchaus bei verschiedenen konkurrierenden Anbietern bestellt werden.

wahl, Wegehäufigkeit und Wegelänge nicht. Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Szenarien zu gewährleisten, wird in beiden Szenarien dieselbe Marktdurchdringung vorausgesetzt.

Es wird von einem langen Zeitraum mit Mischbetrieb von autonomen und konventionellen Fahrzeugen ausgegangen. Höhere Verkehrsdichten, wie sie bei einer vollständigen Marktdurchdringung aufgrund der Sensorik und der Kommunikation mit anderen Fahrzeugen denkbar wären, werden nicht angenommen. Ebenso wird aufgrund der bereits heute bestehenden Flächenkonkurrenz die Anlage von Fahrstreifen ausgeschlossen, die nur von autonomen Fahrzeugen genutzt werden dürfen.

Besitz- und Nutzungsformen autonomer Fahrzeuge (geteilte Fahrzeuge siehe blauer Kasten oben)

Grundsätzlich können (autonome) Fahrzeuge in Privatbesitz, in Besitz eines (privaten) Mobilitätsdienstleisters oder in Besitz eines öffentlichen Verkehrsunternehmens sein.

Im Szenario ‚Trend‘ entsprechen autonome Fahrzeuge im Privatbesitz der im Jahr 2020 üblichen Besitz- und Nutzungsform von privaten Pkw: Sie

gehören einer Privatperson bzw. einem Privathaushalt und werden auch fast ausschließlich von dieser Person bzw. den Mitgliedern des Haushaltes genutzt.

Zahl der autonomen Fahrzeuge / Größe der Fahrzeugflotte

Beim Szenario ‚Trend‘ wird von einer Zunahme der Flotte der autonomen Fahrzeuge ausgegangen, da diese Fahrzeuge auch in automatischen Parkhäusern entfernt vom eigenen Wohnort untergebracht werden können. Carsharing-Fahrzeuge können abwechselnd von vielen verschiedenen Personen genutzt werden und sind damit im Durchschnitt wesentlich häufiger in Benutzung als Privatwagen. Untersuchungen zeigen, dass ein Carsharing-Fahrzeug zwischen 8 und bis zu 20 private Fahrzeuge ersetzen kann (bcs, 2020). Da Carsharing-Fahrzeuge im Szenario ‚Sharing‘ von allen Bevölkerungsgruppen genutzt werden, erscheint für die Abschätzung der Flottengröße im Szenario ‚Sharing‘ eine Orientierung am unteren Ende der Spannweite (also eher Faktor 1:8 als 1:20) realistisch.

Für Ridepooling-Fahrzeuge wird ein Faktor von 1:10

(UM-)GESTALTUNG VON 4 STRASSENTYPEN

„Im Szenario Trend müssten viele neue Parkbauten im Stadtgebiet gebaut werden.“

zu Grunde gelegt. Damit wird Bezug genommen auf die Modellstudie „MEGAFON“ am Beispiel der Region Stuttgart von Friedrich (2016), der (allerdings unter etwas anderen Rahmenbedingungen) eine Flottengröße von 7 % ermittelt sowie von Klementschitz et al. (2019, S. 7), der eine Flottengröße von 10 % angibt. Die Fahrzeugflotte schrumpft im Szenario ‚Sharing‘ damit von 140.000 Fahrzeugen auf ca. 65.000 Fahrzeuge.

Parkraum

Wenn sich im Szenario ‚Trend‘ die Fahrzeugflotte erhöht, entsteht insbesondere in den innenstadtnahen Quartieren Bedarf für zusätzlichen Parkraum. Dieser sollte wohnortnah angeboten werden, um

die Anfahrtszeit zum Wohnort des Eigentümers kurz zu halten. Die Fahrzeuge fahren (leer) aus dem Parkhaus zu ihren Nutzer:innen und holen diese zu Hause ab.

Folgende Abbildung zeigt schematisch die Verteilung von 30 neuen Parkbauten für 16.000 Auto-Stellplätze, die automatisch und damit flächensparend betrieben werden und bis zu 1.000 (zum Rand der Stadt hin weniger) Stellplätze bieten. Die roten Kreise stellen einen Radius von 1 km um die Parkbauten dar.

Jan Riel, Kerstin Gothe, Lisa Matzdorff, Tim Reuber, Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht

Wir zeigen die Ausprägungen der Szenarien in vier exemplarischen Straßenräumen. In allen Abbildungen zum Szenario ‚Trend‘ befindet sich in einer Entfernung von ca. 500 bis 1.500 m eine automatische Parkgarage, in der die autonomen Fahrzeuge der Bewohner:innen stehen. In allen Abbildungen zum Szenario ‚Sharing‘ gibt es innerhalb eines Umkreises von 50 bis 200 m um jede Wohnung eine der flexiblen Ridepooling-Zonen, in denen sich Bewohner:innen absetzen oder abholen lassen können.



Abb. 8:
Verortung der untersuchten Straßentypen im Stadtgebiet

Städtische Hauptverkehrsstraße: Kaiserallee



Wohnstraße: Pastor-Felke-Straße



Abb.9 (links) und Abb. 10 (rechts): Luftaufnahmen der untersuchten Straßentypen. Quelle: Google, 2021.

Innerstädtische Quartiersstraße: Klauprechtstraße

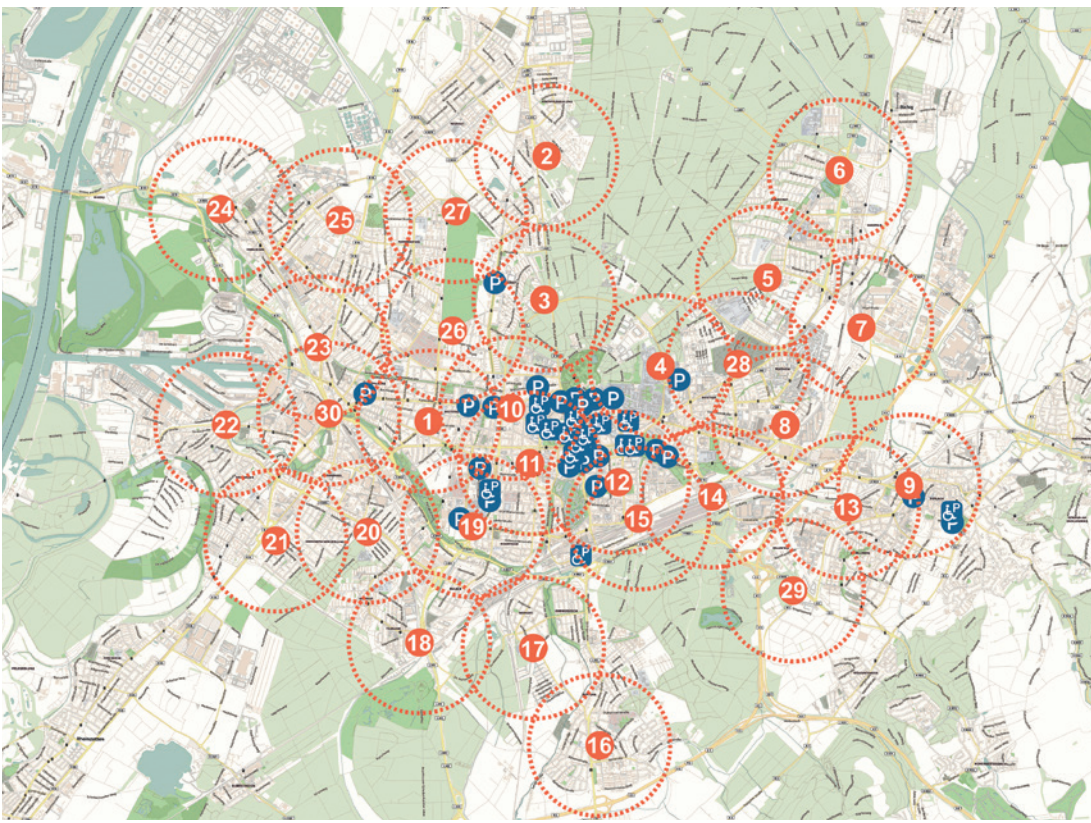


Dörfliche Hauptstraße: Neufeldstraße



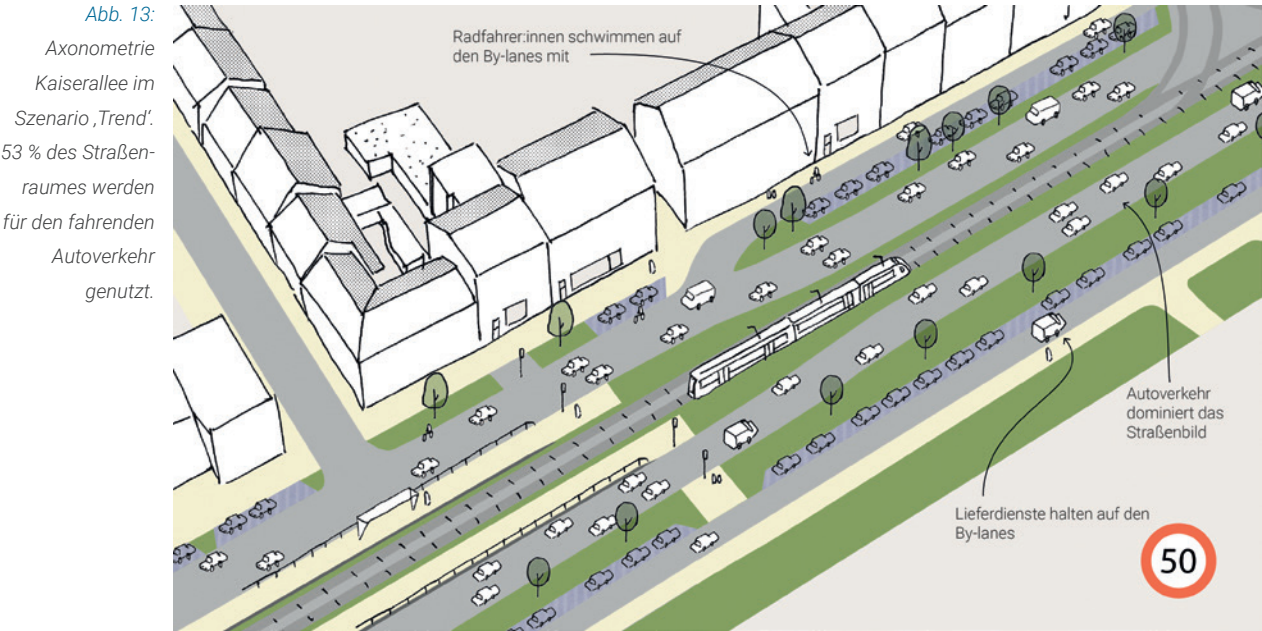
Abb. 11 (links) und Abb. 12 (rechts): Luftaufnahmen der untersuchten Straßentypen. Quelle: Google, 2021.

Abb. 7:
Neue Parkbauten fangen den Zuwachs der Fahrzeugflotte im Szenario ‚Trend‘ auf (blau: bestehende Garagen)



→ **Szenario ‚Sharing‘:**
Fahrspurreduzierungen geben Flächen frei für Klimaanpassung, Grün, Spiel und Aufenthalt, Liefern und Laden sowie bequemes Umsteigen in die Straßenbahn.

Hauptverkehrsstraße mit Aufenthaltsfunktion: Kaiserallee. Szenario ‚Trend‘



Hauptverkehrsstraße mit Aufenthaltsfunktion: Kaiserallee. Szenario ‚Sharing‘

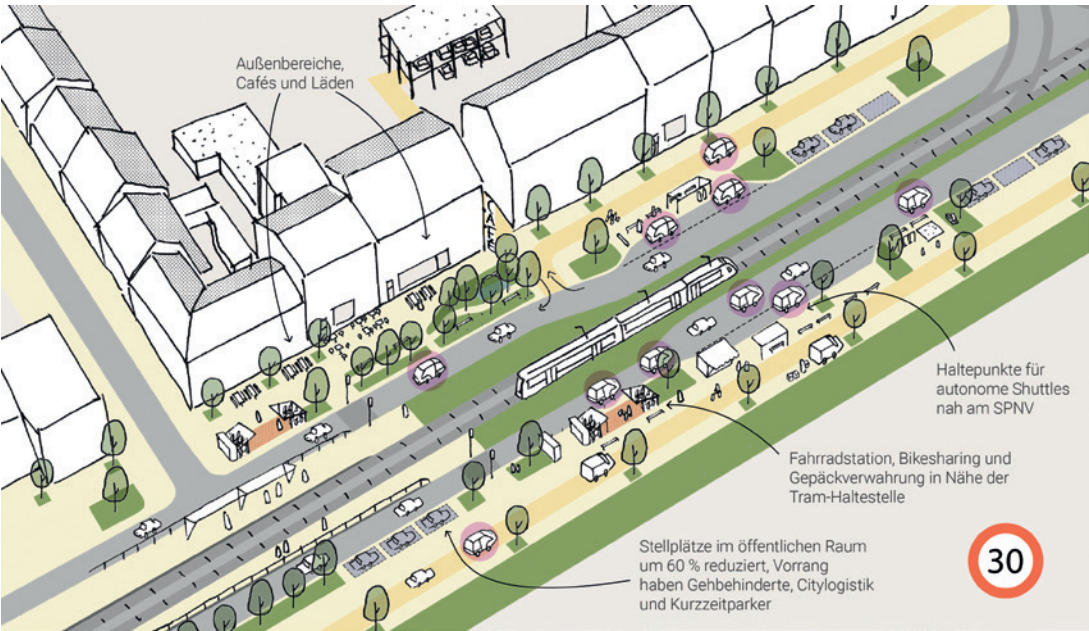


Abb. 14:
Querschnitt
Kaiserallee
im Szenario
‚Trend‘

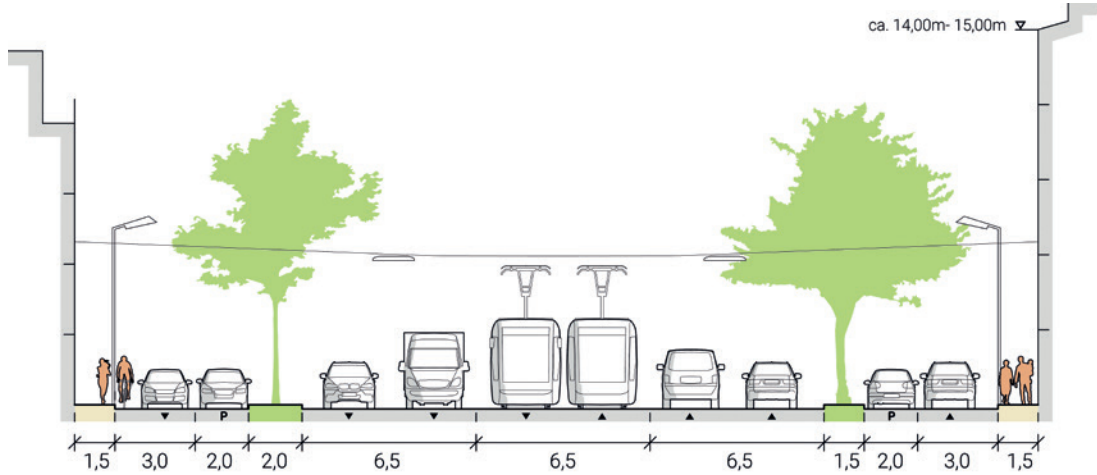
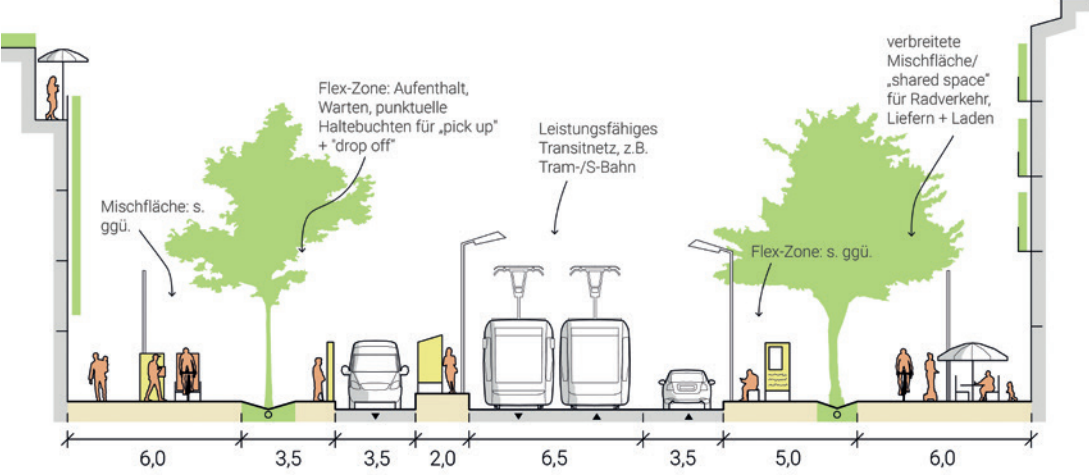


Abb. 16:
Querschnitt
Kaiserallee im
Szenario ‚Sharing‘

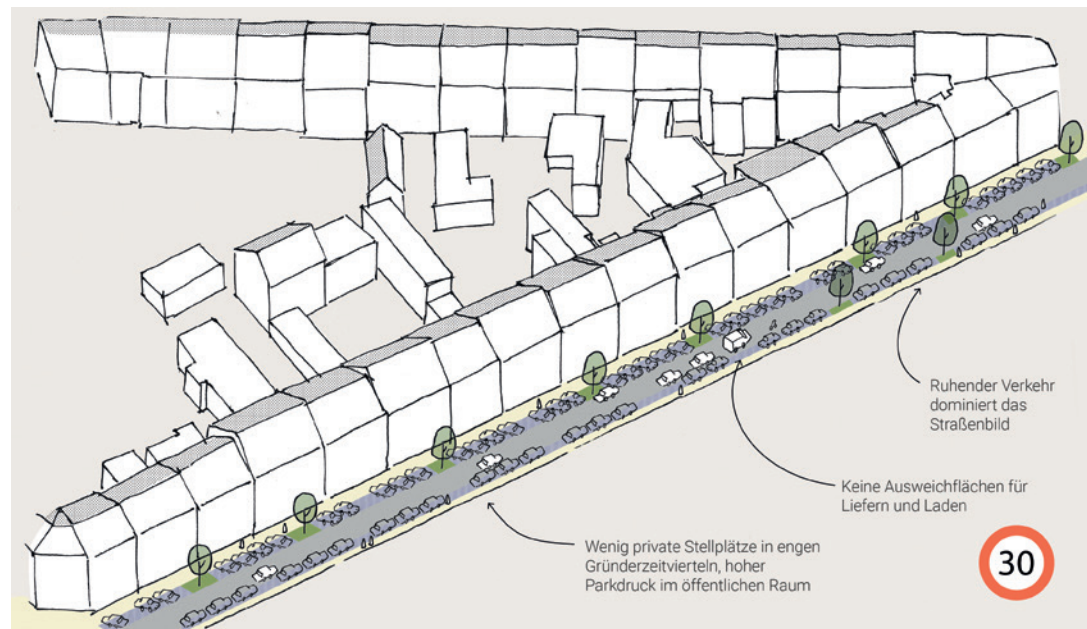


→ **Szenario ‚Sharing‘:**

Die dicht bebauten Gründerzeitviertel profitieren von hochwertigeren, gerecht aufgeteilten Außenräumen. Sicheres Fahrradparken auch im Straßenraum möglich.

Wohnstraße in Gründerzeitviertel: Klauprechtstrasse. Szenario ‚Trend‘

Abb. 17:
Axonometrie
Klauprechtstraße
im Szenario
‚Trend‘



Wohnstraße in Gründerzeitviertel: Klauprechtstrasse. Szenario ‚Sharing‘

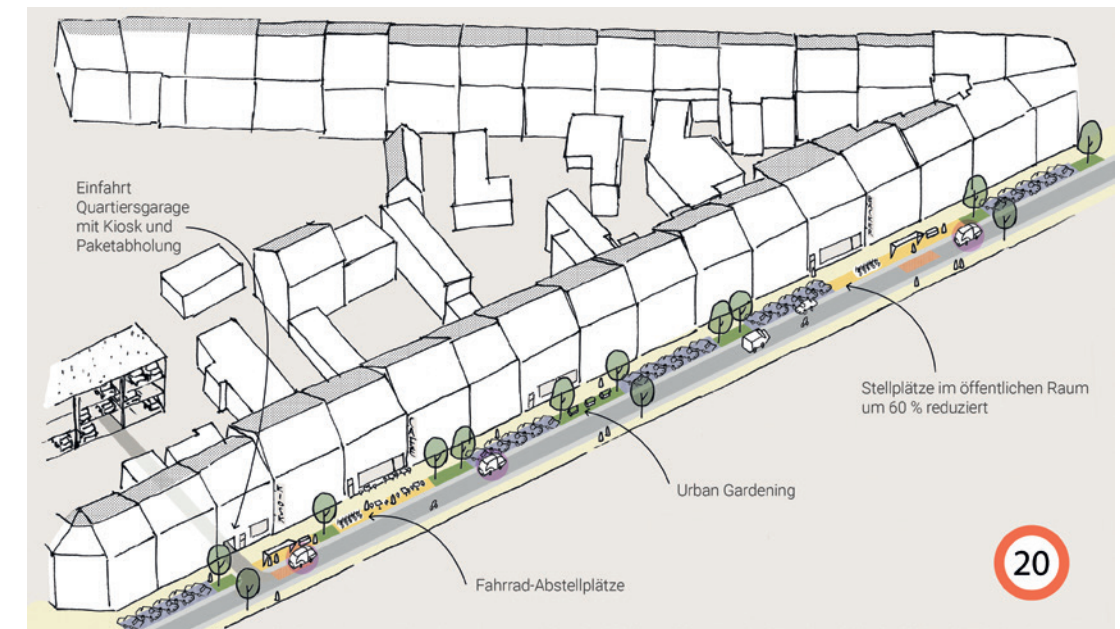


Abb. 20:
Axonometrie
Klauprechtstraße
im Szenario
‚Sharing‘.
Fahrradabstell-
möglichkeiten auf
bisherigen Park-
plätzen. Ausweich-
streifen kann im
Begegnungsfall
befahren werden.

Abb. 18 (links):
Querschnitt
Klauprechtstraße
im Szenario
‚Trend‘. In Grün-
derzeitquartieren
fehlen oft bequem
erreichbare, sichere
Fahrradabstellan-
lagen.

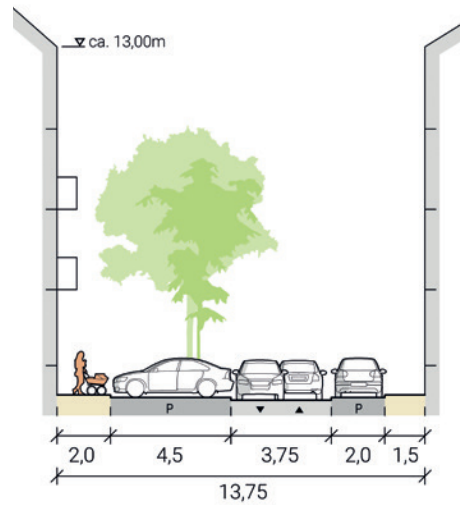


Abb. 19 (rechts):
Foto Klauprecht-
straße heute / im
Szenario ‚Trend‘

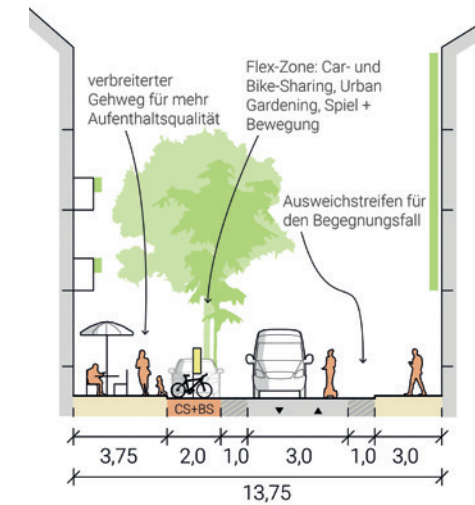


Abb. 21 (links):
Querschnitt
Klauprechtstraße
im Szenario
‚Sharing‘



Abb. 22 (rechts):
eigene Darstellung

→ **Szenario ,Trend:**
Trotz großzügiger (privater) Freiflächen mangelt es an Treffpunkten und Räumen für den nachbarschaftlichen Austausch.

Wohnstraße in 50er-/60er-Jahre-Gebiet: Pastor-Felke-Straße. Szenario ,Trend'

Abb. 23:
Axonometrie
Pastor-Felke-Stra-
ße im Szenario
,Trend'

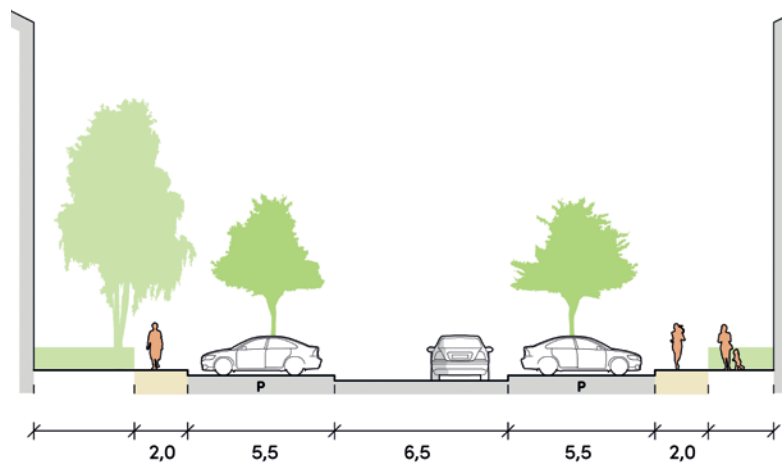


Wohnstraße in 50er-/60er-Jahre-Gebiet: Pastor-Felke-Straße. Szenario ,Sharing'

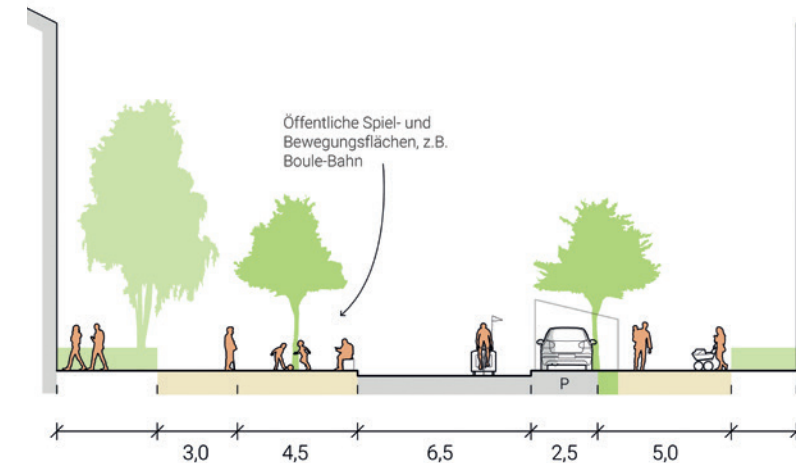
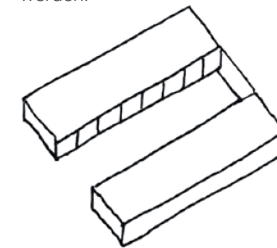
Abb. 25:
Axonometrie
Pastor-Felke-Stra-
ße im Szenario
,Sharing'. Tempo
20 in Wohnge-
bieten verhindert
Schleichverkehr
und harmoni-
siert das Tempo
von Autos und
Radler:innen.



Abb. 24:
Querschnitt
Pastor-Felke-
Straße im
Szenario
,Trend'



Einstöckige Garagenhöfe weisen eine geringe Flächenausnutzung auf. Aufgrund der Enge können oft keine modernen Autos mehr untergestellt werden.



Garagenhof ebenerdig für Fahrräder, Reparatur etc. In der Aufstockung automatische Garage für autonome Kfz.

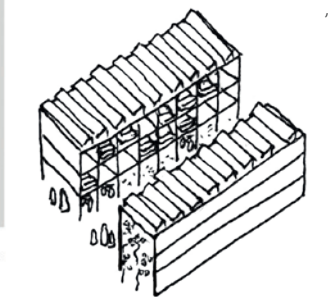
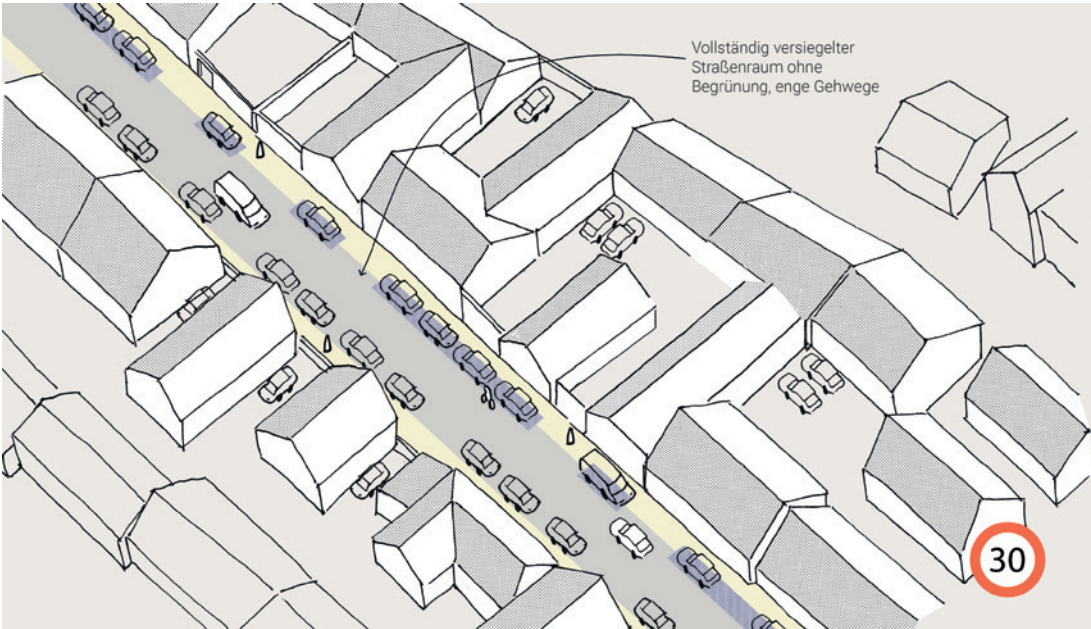


Abb. 26:
Querschnitt
Pastor-Felke-Stra-
ße im Szenario
,Sharing'

→ **Szenario ‚Trend‘:**
 Straßenräume bieten Nutzungspotenziale für Begrünung und großzügigere Gehwege.

Dörfliche Hauptstraße: Neufeldstraße. Szenario ‚Trend‘

Abb. 27:
 Axonometrie
 Neufeldstraße im
 Szenario ‚Trend‘



Dörfliche Hauptstraße: Neufeldstraße. Szenario ‚Sharing‘

Abb. 30:
 Axonometrie
 Neufeldstraße im
 Szenario ‚Sharing‘.
 Die dörflichen
 Strukturen bieten
 in den Höfen Platz
 für Stellplätze
 und Fahrräder,
 Anhänger usw.
 Auf geeigneten
 Grundstücken
 können automati-
 sche Parkgaragen
 ergänzt werden.

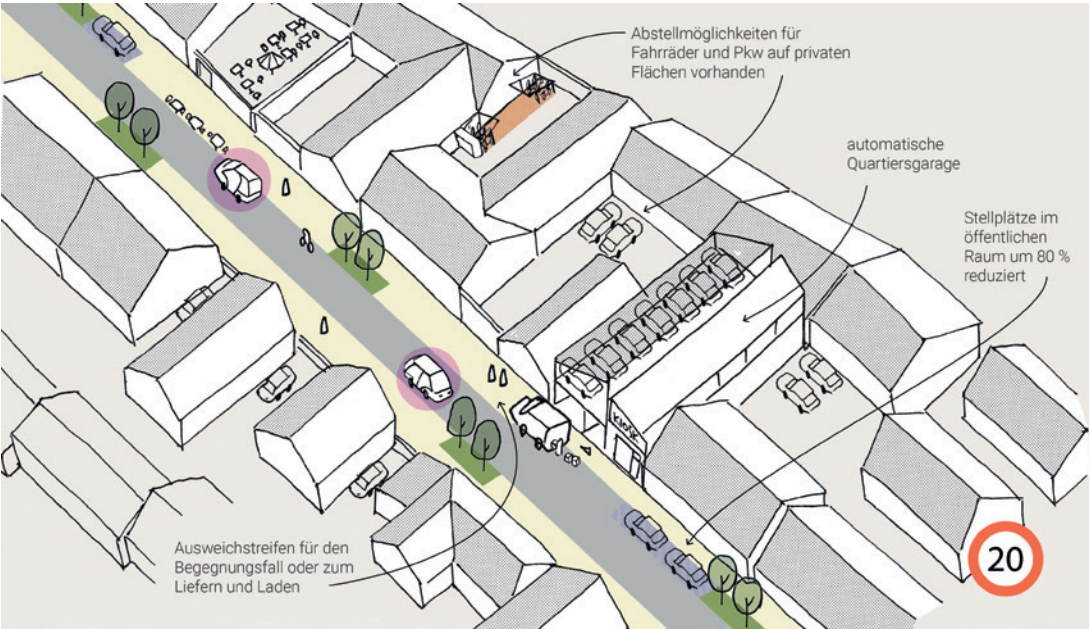


Abb. 28 (links):
 Querschnitt
 Neufeldstraße im
 Szenario ‚Trend‘

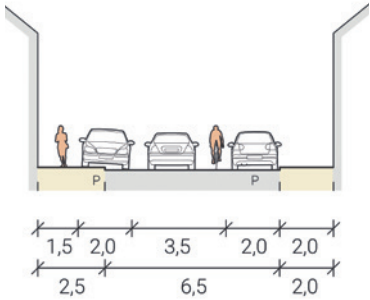
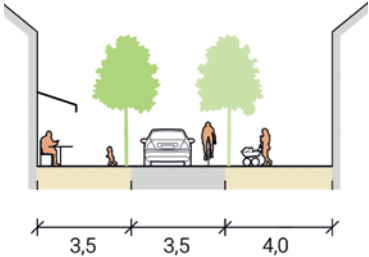


Abb. 29 (rechts):
 Foto Neufeld-
 straße heute / im
 Szenario ‚Trend‘



Abb. 31:
 Querschnitt
 Neufeldstraße im
 Szenario ‚Sharing‘



Die Auswirkungen des autonomen Fahrens auf die Straßenräume sind je nach Lage in der Stadt und Struktur der Bebauung unterschiedlich. Weil im Szenario ‚Sharing‘ deutlich weniger Autos geparkt werden müssen, gibt es hier große Freiräume für eine Umgestaltung des Straßenraumes. Ob die Fahrbahnen tatsächlich reduziert werden können, wie hier vorgestellt, wird davon abhängen, wie sich die Verkehrsbelastung des Straßennetzes entwickelt. Dafür werden im Folgenden Untersuchungen angestellt (vgl. Unterszenarien zum Szenario ‚Sharing‘). Sie bauen auf den Wünschen und Erwartungen auf, wie sie durch Befragungen erhoben wurden (s. S. 13 ff).

Kerstin Gothe, Lisa Matzdorff

MODELLIERUNG UND BEWERTUNG DER SZENARIEN

Im Folgenden wird das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung für die beiden Szenarien in der Stadt Karlsruhe modelliert und auf das Straßennetz umgelegt. Es werden Unterszenarien mit unterschiedlichen Annahmen entwickelt und bewertet. Auf diese Weise sollen die Konsequenzen von Entscheidungen verdeutlicht werden.

Kenngrößen Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung

Die verkehrlichen Auswirkungen des autonomen Fahrens werden untersucht anhand

- a) der Anzahl der mit dem Kfz zurückgelegten Wege (Verkehrsaufkommen Kfz) sowie
- b) der dabei von den Fahrzeugen zurückgelegten Entfernung (Verkehrsleistung Kfz).

Mehrere weit verbreitete „Benchmarks“ beziehen sich auf das *Verkehrsaufkommen*: So drückt z.B. der Modal Split in den meisten Statistiken die prozentuale Verteilung der Wege (Verkehrsaufkommen) auf die verschiedenen Verkehrsmittel aus und gilt als einer der wichtigsten Indikatoren für die Nachhaltigkeit der Mobilität von Städten, Regionen und Ländern. Aber auch andere Werte, wie z.B. die Anzahl der Wege pro Tag und Person geben Aufschluss über das Mobilitätsverhalten von Menschen – z. B. wenn aufgrund neuer Mobilitätsoptionen Wege zurückgelegt werden, die bisher gar nicht möglich waren.

Besondere Bedeutung kommt in AutoRICH jedoch der *Verkehrsleistung* zu: Sie beschreibt die zurückgelegten Kilometer von Fahrzeugen bzw. Personen und repräsentiert beim Kfz-Verkehr damit die Wahrnehmbarkeit bzw. die störende Wirkung im öffentlichen Raum. Der Modal Split kann auch auf die Verkehrsleistung bezogen sein und verschiebt sich im Vergleich zum wegebezogenen Modal Split i. d. R. hin zum Kfz-Verkehr, da Wege mit dem Auto meist länger sind als Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad.

Die Verkehrsleistung steht in direktem Zusammenhang mit Lärmemissionen, mit der verbrauchten Energie und damit mit den von den Fahrzeugen (direkt oder indirekt) erzeugten Schadstoffemissionen. Aus diesem Grund ist die Verkehrsleistung die zentrale Bewertungsgröße in AutoRICH.

Prognose-Nullfall

Der „Prognose-Nullfall“ berücksichtigt Entwicklungen mit Auswirkungen auf Mobilität und Verkehr, die bis zum Zeithorizont 2040 erwartungsgemäß ohnehin stattfinden würden. Autonome Fahrzeuge bzw. ein durch diese hervorgerufen verändertes Mobilitätsverhalten sind also nicht Bestandteil des Prognose-Nullfalls. Er stellt die Bezugsgröße dar, mit der die quantifizierten verkehrlichen Auswirkungen der Szenarien verglichen werden.

Zu diesen ohnehin stattfindenden Entwicklungen gehören vor allem die Entwicklung von Bevölkerung und Siedlungsbau. Eine gewachsene Bevölkerung führt dabei zunächst auch zu mehr (Auto-)Verkehr, die weiterhin voranschreitende Förderung von Fuß-, Rad- und öffentlichem Nahverkehr und die damit oft verbundenen Einschränkungen im MIV wirken diesem Trend entgegen.

Verkehrsentwicklung bis 2040

In der Summe führen die o.g. Maßnahmen bis zum Prognose-Nullfall im Jahr 2040 trotz einer höheren Einwohnerzahl aufgrund eines veränderten Modal Split (mit höherem Anteil an Fuß-, Rad- und ÖPNV-Wegen) insgesamt kaum zu mehr Kfz-Verkehr als im heutigen IST-Zustand (siehe Tabelle rechts).

Die für den Prognose-Nullfall fortgeschriebene Quell-Ziel-Matrix für den MIV, in der alle in einer auf dem Stadtplan umrissenen Quartierszelle startenden und endenden Wege enthalten sind, wurde im Verkehrsmodell auf das Netz umgelegt. Die folgende Abbildung zeigt die Umlegung in grafischer Form. Je dicker eine Linie im Straßennetz dargestellt ist, desto mehr Verkehr ist auf der Straße un-

„Die Verkehrsleistung ist die zentrale Bewertungsgröße in AutoRICH.“



Abb. 32:
Umlegung der
Quell- Ziel-Matrix
für den MIV auf
das Karlsruher
Straßennetz

terwegs. Für den Vergleich der Szenarien mit dem Prognose-Nullfall spielen neben den globalen Kennzahlen zu Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung auch die Verkehrsbelastungen auf den einzelnen Straßen im Straßennetz eine wesentliche Rolle. Der hier dargestellte Belastungsplot bzw. die darin dargestellten Verkehrsbelastungen dienen beim Vergleich der Szenarien mit dem Prognose-Nullfall als Bezugsgröße.

Verkehrliche Kennwerte 2020 und Prognose-Nullfall 2040 im Vergleich

	Einwohner	Modal-Split Fuß	Modal-Split Rad	Modal-Split ÖV	Modal-Split MIV	Verkehrsaufkommen MIV [Kfz-Fahrten]	Verkehrsleistung MIV [Kfz-km]
2020	313000	24,5 %	30,7 %	11,8 %	33,0 %	818.000	16,8 Mio.
2040	341.000	23,4 %	28,9 %	17,4 %	30,4 %	823.000	17,2 Mio.

Tabelle 8

Indikatoren zur Bewertung der Szenarien

Bei der Bewertung der diskutierten Szenarien wird Bezug genommen auf die in der Studie „Mobiles Baden-Württemberg“ (Baden-Württemberg Stiftung, 2017) entwickelten Nachhaltigkeitsindikatoren und -ziele. Diese basieren auf den Millenniums-Zielen der Agenda 2030 mit den Sustainable Development Goals (SDGs) der UNO, der Nachhaltigkeitsstrategie der EU sowie von Deutschland und Baden-Württemberg (Baden-Württemberg Stiftung,

2017, S. 89 bis 113). Für das Projekt AutoRICH wurden die Indikatoren und Ziele der Studie „Mobiles Baden-Württemberg“ entsprechend den in unseren Szenarien thematisierten Schwerpunkten und Fragestellungen weiter angepasst. Im Folgenden werden die Indikatoren zusammengefasst dargestellt. Die Bewertung der Szenarien wird in Tabelle 12 auf S. 43 vergleichend dargestellt.

Minderung Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch

Eine drastische, sektorübergreifende Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 ist ein Kernziel der Umweltpolitik. Das Land Baden-Württemberg (2017, S. 38) nennt in der Studie „Verkehrsinfrastruktur 2030“ eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors um 90 % bis 2050 als beispielhaftes Ziel. Bezogen auf den Prognosehorizont 2040 und eine lineare Reduktion der Emissionen vorausgesetzt, lässt sich hieraus das Ziel einer Treibhausgasreduzierung um 60 % bis 2040 ableiten.

Die unterschiedlichen Treibhausgasemissionen von Verbrenner-Fahrzeugen einerseits und einer elektrisch angetriebenen Fahrzeugflotte andererseits werden betrachtet. Die Flotte, die mit fossilen Brennstoffen fährt, emittiert pro Fahrzeug 180 g CO₂/ km. Die elektrifizierte Flotte emittiert indirekt (lokal emissionsfrei, CO₂-Emissionen durch die Erzeugung der Energie) 27 g CO₂/ km. Sowohl die Verringerung der Verkehrsleistung als auch eine emissionsfreie Energieversorgung können zur Erreichung der Klimaschutzziele beitragen.

Die Szenarien werden auch danach beurteilt, ob die Einsparung von Treibhausgasemissionen durch eine Reduktion der Verkehrsleistung erreicht wird, oder ob es sich lediglich um eine Verschiebung aus

den Bilanzen des Verkehrssektors in den Energiesektor handelt, indem die Emissionen nun nicht mehr im Betrieb, sondern bei der Stromerzeugung anfallen.

Reduzierung Lärm und Schadstoffe

Beide Emissionen stellen erhebliche Gesundheitsrisiken für Stadtbewohner:innen dar. Sie werden bei verringerter Verkehrsleistung reduziert.

Entsiegelung und Grün

Baden-Württemberg hat sich zum Ziel gesetzt, die Flächeninanspruchnahme auf 3 ha/ Tag bis 2020 zu begrenzen, sowie langfristig (bis 2030) auf null zu senken (Baden-Württemberg Stiftung, 2017, S. 101 f).

Die Bodenversiegelung steigert das Risiko, dass es zu Überschwemmungen bei starken Regenfällen kommt. Auch das Kleinklima wird negativ beeinflusst (UBA, 2020). Eine Entsiegelung von Flächen kann also zu einer höheren Resilienz gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels beitragen.

Steigerung Aufenthaltsqualität

Die Aufenthaltsqualität von öffentlichen Räumen ist von zentraler Bedeutung für die aktive Mobilität sowie für die Attraktivität von Städten. So wird regelmäßige Bewegung gefördert und es

entstehen positive Gesundheitseffekte. Ziel ist es daher, möglichst vielseitige und hochwertige Aufenthaltsmöglichkeiten in den Städten zu schaffen. (Baden-Württemberg Stiftung, 2017, S. 111 ff)

Leistbarkeit von Mobilität

Ziel sollte es sein, dass umweltfreundliche Mobilität für alle, auch für einkommensschwache Haushalte, bezahlbar bleibt, dass gesellschaftliche Teilhabe, persönliche Bedürfniserfüllung durch Mobilität erhalten und für bisher Mobilitäts-Benachteiligte sogar verbessert wird (Baden-Württemberg Stiftung, 2017, S. 109 f).

Soziale Akzeptanz

Dieser Aspekt erweitert die Leistbarkeit von Mobilität auf die Akzeptanz bestimmter Nutzungsformen (autonomer) Fahrzeuge (vgl. S. 39 ff). Diese weichen insbesondere von dem heute üblichen Privat-Pkw ab.

Förderung ÖPNV

In Baden-Württemberg verfolgt das Ministerium für Verkehr und Infrastruktur das Ziel, die Personenkilometer des ÖPNV um 100 % bis 2030 (gegenüber dem Jahr 2004) zu erhöhen sowie auch den Radverkehrsanteil und den Fußverkehrsanteil am Modal Split zu steigern (ebd., S. 107 f).

Nutzungsmischung und Erreichbarkeiten

Eine verstärkte Nutzungsmischung findet sich implizit im Leitbild der Stadt der kurzen Wege. Ziel ist es, die Erreichbarkeit der grünen, sozialen und kommerziellen Infrastruktur zu sichern (Baden-Württemberg Stiftung, 2017, S. 111 f). Dieser Indikator wird nicht weiter explizit für die Beurteilung der Szenarien verwendet. Er wird beeinflusst durch stadtplanerische und weniger durch verkehrsplanerische Entscheidungen, um die es in dieser Studie geht.

Mobilitätsverhalten: Wegehäufigkeiten und Wegelängen

„Was wäre, wenn es heute bereits autonom fahrende Autos gäbe?“ wurden rund 3.400 Personen im Rahmen einer Online-Befragung gefragt. Das Ergebnis: Die Menschen würden die neuen Mobilitätsoptionen intensiv nutzen (vgl. S. 13 ff.). Es würden viele neue Wege entstehen oder vom Umweltverbund verlagert werden. Auch würden längere Fahrten akzeptiert, z.B. da während der Fahrt auch anderen Tätigkeiten nachgegangen werden könnte. Tabelle 9 stellt das Ergebnis nach Wegezwecken dar. Die mit autonomen Fahrzeugen zurückgelegten Wege verteilen sich etwa hälftig auf Privatfahrzeuge, und zu jeweils einem Viertel auf Carsharing und

Ridepooling. Die o.g. Werte gingen zunächst als zukünftige Fahrwünsche der Bewohner:innen als eine wesentliche Datengrundlage in die Modellierung der Verkehrsmengen auf dem Karlsruher Straßennetz ein.

Das autonome Fahren wird offensichtlich als sehr attraktiv empfunden und es zeigt sich, dass die erwartbare Zahl der Wege mit dem Kfz, wenn es autonome Fahrzeuge gibt, bei fast allen Wegezwecken absehbar deutlich zunimmt. Dies ist besonders ausgeprägt bei den Jugendlichen unter 18 Jahren. Diese Altersgruppe ist bereits sehr eigenständig mobil und würde mit autonomen Fahrzeugen eine enorme Steigerung von Reichweite, Flexibilität und Komfort erreichen.

Verändertes Mobilitätsverhalten durch neue Mobilitätsoptionen

	Arbeit	dienstlich	Ausbildung	Einkauf	persönliche Erledigung	Freizeit	Holen und Bringen
Wegeanzahl	+ 79 %	+ 136 %	+ 345 %	+ 69 %	+ 128 %	+ 66 %	+ 116 %
Wege-länge	+ 16 %	+ 18 %	+ 10 %	+ 16 %	+ 17 %	+ 11 %	+ 16 %

Tabelle 9

„Im Szenario ‚Trend‘ können 25 % der Fahrtwünsche nicht erfüllt werden. Sie würden also nicht vom Umweltverbund auf autonome Fahrzeuge verlagert werden oder als neue Fahrten entstehen.“

Modellergebnisse

Im Prognose-Nullfall lag das Verkehrsaufkommen des modellierten Untersuchungsraums im MIV bei 0,82 Mio. Kfz-Fahrten täglich und die Verkehrsleistung bei 17,2 Mio. Kfz-km pro Tag. Eine Übersicht über die Daten im Vergleich der Szenarien findet sich in Tabelle 11 auf S. 38.

Szenario ‚Trend‘

40 % bzw. 6,9 Mio. Kfz-km der Verkehrsleistung aus dem Prognose-Nullfall werden von Personen zurückgelegt, die zukünftig keine autonomen Fahrzeuge nutzen wollen. 60 % bzw. 10,3 Mio. Kfz-km der Verkehrsleistung werden von Personen zurückgelegt, die zukünftig autonome Fahrzeuge nutzen wollen. Mit der in Tabelle 11 (S. 38) dargestellten Zunahme von Wegen und deren Entfernungen würden diese 10,3 Mio. Kfz-km auf 23,9 Mio. km anwachsen. Zusammen mit den im Jahr 2040 noch manuell steuernden Bewohnern würden 30,8 Mio. Kfz-km täglich zurückgelegt. Die folgenden Abbildungen zeigen die neuen Verkehrsmengen auf dem Karlsruher Straßennetz im Vergleich zu den Verkehrsmengen des Prognose-Nullfalls auf dem fortgeschriebenen Netz. Strecken, auf denen im Vergleich mit dem Prognose-Nullfall mehr Verkehr herrscht, sind in Rot dargestellt, Strecken mit weniger Verkehr in grün. Je größer die Differenz zum Prognose-Nullfall ist, desto dicker sind die Linien dargestellt. Wenn die Verkehrsmengen, die sich mit den neu hinzugekommenen MIV-Fahrten mit autonomen Fahrzeugen ergeben würden, auf das Straßennetz

umgelegt werden, wäre es an den meisten Stellen weit über die Kapazitätsgrenze hinaus belastet, die Verkehrsmenge könnte schon rein verkehrstechnisch nicht mehr abgewickelt werden. Auf dem Verkehrsnetz abgewickelt werden könnten nur 75 % des Verkehrs. 25 % der Fahrtwünsche könnten nicht erfüllt werden, würden also nicht vom Umweltverbund auf autonome Fahrzeuge verlagert werden oder als neue Fahrten entstehen. Die Abbildung auf S. 37 zeigt: Selbst wenn die Kapazitätsgrenze des Straßennetzes berücksichtigt wird, muss hierbei immer noch deutlich mehr Verkehr auf das Straßennetz verteilt werden als im Prognose-Nullfall.

Fazit zum Szenario ‚Trend‘: Ein Vergleich der Kennwerte und eine vergleichende Bewertung der Szenarien findet sich in Tabelle 11 auf S. 38 bzw. Tabelle 12 auf S. 43. Das Szenario ‚Trend‘ führt zu deutlich mehr Verkehr auf den Straßen und bringt das Straßennetz an bzw. über die Grenzen der verkehrstechnischen Leistungsfähigkeit. Nachhaltigkeitsziele im Sinne des Klimaschutzes werden nicht aufgrund des autonomen Fahrens, sondern aufgrund einer weitestgehenden Umstellung der Fahrzeugflotte auf mit Ökostrom betriebene E-Fahrzeuge erreicht. Im Szenario ‚Trend‘ verschieben sich die Notwendigkeit und Verantwortung der erforderlichen Emissionseinsparungen vollständig vom Verkehrs- in den Energiesektor. Auch die bereits im Jahr 2020 bekannten Verkehrsprobleme werden in einem Szenario ‚Trend‘ nicht

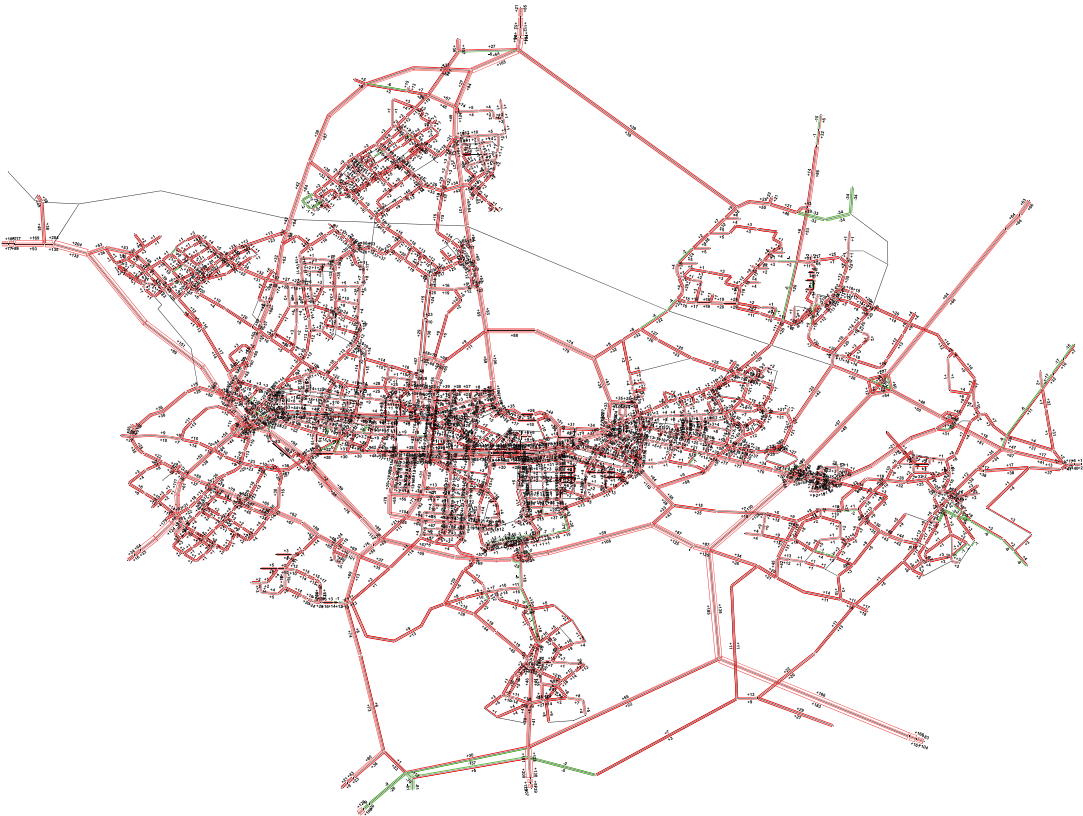


Abb. 33: Zunahme der Verkehrsmengen im Szenario ‚Trend‘ bzw. im Unterszenario ‚Sharing ohne Grenzen‘

gelöst: Die Fahrzeugflotte wächst, der öffentliche Raum wird deutlich höher durch den ruhenden Verkehr belastet als im Prognose-Nullfall. Damit besteht im öffentlichen Raum auch kein Potenzial für Maßnahmen zur Klimaanpassung oder zur Erhöhung der Aufenthaltsqualität.

gen und Ridepooling-Fahrzeugen eine wesentliche Rolle. In den Unterszenarien ‚Modal Shift‘ und ‚Mobilitätswende für Klimaziele‘ werden noch weitere Parameter geändert. Einen ersten Überblick gibt Tabelle 10 auf der linken Seite.

Szenario ‚Sharing‘ mit Unterszenarien

Im Szenario ‚Sharing‘ werden zunächst dieselben Wünsche der Bevölkerung nach mehr Mobilität in einer autonomen Autowelt zugrunde gelegt wie im Szenario ‚Trend‘: Im Szenario ‚Sharing‘ wird jedoch eine Reduzierung von Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung gegenüber dem Prognose-Nullfall angestrebt. Für die im Folgenden untersuchten Unterszenarien spielt die Verteilung zwischen Carsharing-Fahrzeugen und Ridepooling-Fahrzeugen eine wesentliche Rolle.

Unterszenario ‚Sharing ohne Grenzen‘

In einem ersten Schritt wird in dem Unterszenario ‚Sharing ohne Grenzen‘ untersucht, wie sich eine vollständige Erfüllung der Fahrtenwünsche aus der Umfrage unter den im Szenario ‚Sharing‘ gegebenen Randbedingungen auswirken würde. Das heißt:

- 40 % der Karlsruher:innen sind nach wie vor mit manuell gesteuerten Fahrzeugen unterwegs, deren Verkehrsverhalten ändert sich nicht im Vergleich zum Prognose-Nullfall.

Tabelle 10

Sharing ohne Grenzen	Autonome Fahrzeuge zu 50 % Carsharing und 50 % Ridepooling
Mehr Mobilität – Weniger Verkehr	Autonome Fahrzeuge zu 100 % Ridepooling
Modal Shift	10% weniger Verkehrsleistung, autonome Fahrzeuge zu 50 % Carsharing und 50 % Ridepooling
Mobilitätswende für Klimaziele	Minus 60 % Emissionen (zu 2020) ohne Antriebswende und Ökostrom

„Im Unterszenario ‚Sharing ohne Grenzen‘ wird - wie im Szenario ‚Trend‘ - das Straßennetz durch den Mehrverkehr bis an die Kapazitätsgrenze belastet. Es können jedoch alle Fahrtwünsche erfüllt werden.“

„Im Unterszenario ‚Mehr Mobilität - Weniger Verkehr‘ werden autonome Fahrzeuge ausschließlich als Ridepooling-Fahrzeuge betrieben. Die Verkehrsleistung geht um 10 % zurück...“

Ziele und Kennwerte der Szenarien

Tabelle 11

Szenario		Ziel bzw. regulierender Eingriff	Verkehrsaufkommen [Mio. Pers.-Wege mit Kfz]	Verkehrsaufkommen [Mio. Kfz-Fahrten]	Verkehrsleistung [Mio. Kfz-km]	Differenz zu Prognose-Nullfall [%]
IST 2020		Datenausgangslage	1,07	0,82	16,80	-2 %
Prognose-Nullfall		Vergleichsbasis	1,07	0,82	17,22	/
Trend*		Keine Regulierung	1,27 davon leer: 0,44	1,90 davon leer: 0,44	23,11 davon leer: 0,54	+34 %
Sharing-Szenarien	Sharing ohne Grenzen	Autonome Fahrzeuge zu 50 % Carsharing und 50 % Ridepooling	1,70	1,06 davon leer: 0,05	23,10 davon leer: 0,62	+34 %
	Mehr Mobilität – Weniger Verkehr	Autonome Fahrzeuge zu 100 % Ridepooling	1,70	0,72 davon leer: 0,04	15,50 davon leer: 0,82	-10 %
	Modal Shift	Minus 10% Verkehrsleistung, autonome Fahrzeuge zu 50 % Carsharing und 50 % Ridepooling	1,14	0,87 davon leer: 0,03	15,50 davon leer: 0,69	-10 %
	Mobilitätswende für Klimaziele	Minus 60 % Emissionen (zu 2020) ohne Antriebswende und Ökostrom	0,51	0,32 davon leer: 0,02	6,93 davon leer: 0,19	-59 %

* Wenn alle Fahrtwünsche erfüllt würden, würden 30,8 Mio. Kfz-km täglich zurückgelegt. Auf dem Verkehrsnetz abgewickelt werden können nur 75 % des Verkehrs: 23,11 Mio. Kfz-km.

- 60 % der Karlsruher:innen nutzen autonome Fahrzeuge, dabei finden 50 % der Fahrten mit Carsharing-Fahrzeugen statt und 50 % in Ridepooling-Fahrzeugen.
- Im Unterszenario ‚Sharing ohne Grenzen‘ wird - wie im Szenario ‚Trend‘ - das Straßennetz durch den Mehrverkehr bis an die Kapazitätsgrenze belastet. Es können jedoch alle Fahrtwünsche erfüllt werden.

50 % der Fahrten in autonomen Fahrzeugen werden zwar in Ridepooling-Fahrzeugen mit einem höheren

Besetzungsgrad zurückgelegt, dieser kann jedoch den Zuwachs an Fahrten nicht kompensieren. Die oben stehende Tabelle zeigt die Kennwerte Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung im Vergleich zum Prognose-Nullfall, die Zunahmen der Verkehrsmengen auf dem Straßennetz stellen sich wie im Trend-Szenario dar (s. Abbildung S. 37).

Fazit zum Unterszenario ‚Sharing ohne Grenzen‘:
Ein Vergleich der Kennwerte und eine vergleichende Bewertung der Szenarien findet sich in Tabelle 11 bzw. Tabelle 12 auf S. 43.



Abb. 34:
Unterszenario
‚Mehr Mobilität -
Weniger Verkehr‘.
Kfz-Verkehrsbe-
lastung bei 100 %
Ridepooling-Anteil
in der autonomen
Fahrzeugflotte

Durch die Zulassung autonomer Fahrzeuge ausschließlich als Sharing-Fahrzeuge werden große Fortschritte durch die Reduzierung der Fahrzeugflotte erreicht, die eine Transformation des öffentlichen Raums ermöglicht. Für Stadtbild, Entsiegelung und Klimaresilienz ergeben sich große Spielräume. Eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen kann dagegen nur durch eine Elektrifizierung der Antriebstechnik und einer gleichzeitig stattfindenden Energiewende hin zu 100% Ökostrom erreicht werden. Nicht erreicht werden kann jedoch eine Reduzierung der Verkehrsleistung. Die Lärm- und Luftbelastung bleibt ein Problem.

Unterszenario ‚Mehr Mobilität - Weniger Verkehr‘
In diesem Unterszenario wird die Verkehrsleistung reduziert, ohne dabei die in der Umfrage ermittelt-

ten (zusätzlichen) Fahrtwünsche mit einem autonomen Fahrzeug einzuschränken. Das Instrument, um dieses Ziel zu erreichen, liegt in der maximalen Nutzung von Ridepooling-Fahrzeugen. Es wird angenommen, dass die autonome Fahrzeugflotte zu 100 % aus Ridepooling-Fahrzeugen besteht, die in der Regel mit mehreren Personen besetzt sind. Tabelle 11 zeigt Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung dieses Unterszenarios im Vergleich zum Prognose-Nullfall. Obwohl 58 % mehr Wege in einem Kfz zurückgelegt werden, geht aufgrund des höheren Besetzungsgrades der Ridepooling-Fahrzeuge die Verkehrsleistung um 10 % zurück. Dies führt im Vergleich zum Prognose-Nullfall zu einer Reduzierung der Verkehrsmengen auf dem Straßennetz (s. Abbildung S. 39).

„... eine ausschließlich gemeinsame Nutzung autonomer Fahrzeuge in Ridepooling-Konzepten dürfte jedoch von den Bürgern nicht akzeptiert werden.“

Fazit zum Unterszenario ‚Mehr Mobilität – Weniger Verkehr‘:

Ein Vergleich der Kennwerte und eine vergleichende Bewertung der Szenarien findet sich in Tabelle 11 auf S. 38 bzw. Tabelle 12 auf S. 43.

Die 100-prozentige Nutzung autonomer Fahrzeuge als Ridepooling-Fahrzeuge wirkt sich auf fast alle Indikatoren positiv aus. Die Bedenken der Nutzer:innen gegen das Ridepooling als einzige Angebotsform autonomer Fahrzeuge sprechen gegen diesen Ansatz. Daher wurde ein weiteres Szenario untersucht:

Unterszenario ‚Modal Shift‘

In diesem Unterszenario sollen dieselben verkehrlichen Effekte wie im o.g. Unterszenario ‚Mehr Mobilität – weniger Verkehr‘ (Reduzierung um 10 % der Verkehrsleistung) erreicht werden. Es wird unterstellt, dass die Nutzer:innen entsprechend der Umfrage bei autonomen Fahrzeugen jeweils zur Hälfte auf Carsharing- und zur Hälfte auf Ridepooling- Angebote zurückgreifen können. Neben 40 % manuell gesteuerten Fahrzeugen gibt es 30 % autonome Carsharing-Fahrzeuge und 30 % autonome Ridepooling-Fahrzeuge.

Sofern alle Fahrtwünsche erfüllt werden sollen, erfordert dies eine Verlagerung von Autofahrten auf den Umweltverbund (Modal Shift), welcher durch verschiedene Push- und Pull-Maßnahmen erreicht werden kann. Im Verkehrsmodell werden solche Maßnahmen durch eine Erhöhung des „Widerstandes“ beim MIV und ggf. einer Reduzierung des „Widerstandes“ beim Umweltverbund erreicht. In Wirklichkeit bestehen solche Widerstände aus zahlreichen Komponenten wie Fahrzeit, Verfügbarkeit von Parkplätzen, Parkgebühren und sonstigen Abgaben im MIV. Im Verkehrsmodell werden diese Maßnahmen durch eine entsprechende Verlängerung der Fahrzeit abgebildet. In AutoRICH werden die Kostensätze und Elastizitäten der ‚Standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im schienengebundenen öffentlichen Personen-

verkehr‘ (ITP Intraplan Consult GmbH. (2016) genutzt. Demnach müsste für eine Verlagerung von 10 % des Kfz-Verkehrs eine Verteuerung des Kfz-Verkehrs um 12,5 % im Vergleich zu den Verkehrsmitteln des Umweltverbundes erfolgen. Eine genaue Differenzierung dieser Preisinstrumente hierzu können auf Seiten des Autoverkehrs insbesondere eine Erhöhung von Parkgebühren (Kommunen), Treibstoff- bzw. Stromkosten (Markt), Steuern und sonstigen Abgaben (Bund, Land, Kommune) etc. erfolgen. Auf Seiten des Umweltverbundes könnte z.B. die Einführung eines einfachen und kostengünstigen Tarifangebotes wie z.B. eines 365-€-Tickets stehen. Die Verkehrsbelastung entspricht der im vorangehenden Unterszenario ‚Mehr Mobilität - weniger Verkehr‘ (s. Abbildung auf S. 39).

Fazit zum Unterszenario ‚Modal Shift‘: Ein Vergleich der Kennwerte und eine vergleichende Bewertung der Szenarien findet sich in Tabelle 11 auf S. 38 bzw. Tabelle 12 auf S. 43.

Die Reduzierung der Verkehrsleistung um 10 % gegenüber dem Prognose-Nullfall wirkt sich auf mehrere Indikatoren positiv aus. Die Chancen des autonomen Fahrens für Stadtbild, Aufenthaltsqualität und Klimaanpassung werden genutzt, Lärm und Treibhausgasemissionen werden zumindest tendenziell reduziert. Wie bei den vorhergegangenen (Unter)szenarien auch, können die Klimaziele des Landes nur mit Hilfe einer Energiewende und der Elektromobilität erreicht werden.

Unterszenario ‚Mobilitätswende für Klimaziele‘

In allen bisher betrachteten Unterszenarien wurden die Klimaziele nicht durch eine ausreichende Reduzierung der Verkehrsleistung erreicht, sondern nur durch eine auf Ökostrom basierende Energie- und Antriebswende. Ziel des Unterszenarios ‚Mobilitätswende für Klimaziele‘ ist es daher, eine Reduzierung des Treibhausgasausstoßes um 60 % auch ohne „Outsourcing“ der Verantwortung

„Wenn im Unterszenario ‚Modal Shift‘ autonome Fahrzeuge zu 1/2 Carsharing, zu 1/2 Ridepooling-Angebote sind und Fahrten auf den Umweltverbund verlagert werden, kann die Verkehrsleistung um 10 % zurückgehen.“



Abb. 35:
Unterszenario
‚Mobilitätswende
für Klimaziele‘.
Stark reduzierte
Kfz-Verkehrs-
stärken auf dem
Straßennetz

zu erreichen, also durch eine Reduzierung der Verkehrsleistung um ebenfalls insgesamt 60 %. Auch das Unterszenario ‚Mobilitätswende für Klimaziele‘ baut zunächst auf dem Szenario ‚Sharing ohne Grenzen‘ auf: Die Nutzung autonomer Fahrzeuge verteilt sich entsprechend der Umfrage gleichmäßig auf Carsharing und Ridepooling, insgesamt also nutzen 40 % der Bewohner:innen ein manuell gesteuertes Fahrzeug und je 30 % ein autonomes Carsharing- oder Ridepooling-Fahrzeug. Aufgrund der unterschiedlichen Fahrtlängen und Leerfahrtenanteile bei Carsharing und Ridepooling verläuft die Reduzierung der Verkehrsleistung nicht linear zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens. Im Verkehrsmodell wurde die Quell-Ziel-Matrix daher schrittweise reduziert und die sich jeweils

ergebende Verkehrsleistung ermittelt. Die angestrebte Reduzierung der Verkehrsleistung um 60 % (bezogen auf das Jahr 2020) ergab sich bei einer Reduzierung der Fahrten in der Quell-Ziel-Matrix des Unterszenarios ‚Sharing ohne Grenzen‘ um 70 %. Die Abbildung oben zeigt die Reduzierung von Kfz-Verkehrsleistung, -aufkommen und -stärke.

Steuerungsinstrumente zur Durchsetzung der Klimaziele

Die normative Limitierung der Verkehrsleistung in einem solchen Ausmaß würde den weitreichenden Einsatz von Steuerungsinstrumenten zur Planung und Kontrolle von Fahrten erfordern (S. 50 ff). Ein solches Instrument würde einen für heutige Verhältnisse enormen Eingriff in die Privatsphäre

Indikatoren	Szenario ‚Trend‘	Unterszenario „Sharifng ohne Grenzen	Unterszenario „Mehr Mobilität - Weniger Verkehr“	Szenario „Sharing“ Unterszenario „Modal Shift“	Unterszenario „Mobilitätswende für Klimaziele“
Treibhausgas-emissionen	Verkehrsleistung nimmt gegenüber Prognose-NuIfall um 34 % zu. Erreichung der Klimaziele setzt Antriebswende (Elektrifizierung der Fahrzeugflotte) und Energiewende (Ökostrom) voraus. Bei spezi-fischer Treibhausgasemission von 27 g / km müssten 66 % der Fahrzeugflotte elektrifiziert sein.	Verkehrsleistung nimmt gegenüber Prognose-NuIfall um 10 % ab. Erreichung der Klimaziele setzt Antriebswende (Elektrifizierung der Fahrzeugflotte) und Energiewende (Ökostrom) voraus. Bei spezi-fischer Treibhausgasemission von 27 g / km müssten 41 % der Fahrzeugflotte elektrifiziert sein.	Reduzierung der Verkehrsleistung um 10 % senkt die Lärmbe-lastung. Diese ist jedoch nur vereinzelt wahrnehmbar (minus 1 dB(A) bzw. minus 20 % Verkehrsstärke). Reduktion der Lärmbe-lastung aufgrund der Elektrifizierung der Fahrzeugflotte an den Knotenpunkten und in den zahlreichen Bereichen mit niedrigem Geschwindigkeitsniveau.	Die Reduzierung der Verkehrsleistung um 59 % führt auch zu einer spürbaren Reduktion der Lärmbelastung.	Verkehrsleistung nimmt um 60 % ab. Erreichung der Klimaziele auch unabhän-gig von Antriebs- und Energiewende.
Lärm	O g. Zunahme der Verkehrsleistung bedeutet flächendeckend eine hörbare Zunahme der Lärmbelastung. Reduktion der Lärm-belastung aufgrund der Elektrifizierung der Fahrzeugflotte nur an Knotenpunkten und in Bereichen mit niedrigem Geschwindigkeits-niveau.	Entlastung des öffentlichen Raums vom ruhenden Verkehr schafft Möglichkeit der Flächenumverteilung zu Gunsten des Rad- und Fußverkehrs, der Entseigelung und Begrünung.	Die Aufenthaltsqualität nimmt durch Umwidmung von Flächen, Reduzierung der Verkehrsleistung und Temporeduktion zu.	Wie in der linken Spalte, die Aufenthalts-qualität nimmt jedoch in diesem Szenario aufgrund besonders starker Reduzierung der Verkehrsleistung weiter zu.	
Entseigelung und Grün	Keine Potenziale gegeben, da die Fahrzeugflotte wächst und der öffentliche Raum nicht vom ruhenden Verkehr entlastet wird.				
Aufenthaltsqua-lität	Keine Potenziale gegeben, da die Fahrzeugflotte wächst und der öffentliche Raum nicht vom ruhenden Verkehr entlastet wird.	Die Aufenthaltsqualität nimmt durch Temporeduktion und Um-widmung von Flächen zu, wird aber reduziert durch höhere Verkehrsleistung.	Die Aufenthaltsqualität nimmt durch Umwidmung von Flächen, Reduzierung der Verkehrsleistung und Temporeduktion zu.		
Leisbarkeit von Mobilität	Private autonome Fahrzeuge eher teuer als konventionelle.	Carsharing, insbesondere aber Ridepooling, ist deutlich güns-tiger als private Fahrzeuge. Kosten für Mobilität werden geringer.	Sehr günstig, da alle Fahrten mit autonomen Fahrzeugen mit Ridepooling durchgeführt werden.	Ridepooling nach wie vor günstige Transportmöglichkeit. Insgesamt Verteuerung des MIV bei gleichzeitiger Vergünstigung ÖPNV.	Massive Verdrängung des Kfz-Verkehrs nur mit deutlicher Kostensteigerung erreichbar. Günstigerer Umweltverbund kann dies evtl. teilweise kompensieren. Effekte: Gefährterer km wird teurer, Mobi-litätsausgaben insgesamt geringer, weil weniger und kürzere Fahrten.
Soziale Akzeptanz des Mobilitätssys-tems	Verbesserte Fahrzeugverfö-gbarkeit gegenüber manuellem Fahrzeug.	Wahlfreiheit zwischen Carsha-ring und Ridepooling. Deren Nutzung erfordert Änderung von Routinen.	Vorbehalte aus Nutzersicht ge- gen zwangs-weisen Teilen der Fahrten, Gründe: Soziale Sicher-heit / Privatsphäre / Komfort.	Wahlfreiheit zwischen Carsha-ring und Ridepooling. Deren Nutzung erfordert Änderung von Routinen.	Nutzung von Carsharing und Ridepoo-ling erfordert Änderung von Routinen. „Buchungssystem“ für Fahrten kann als Einschränkung der Freiheit empfunden werden.
ÖPNV	Ersatz des Busverkehrs durch Ridepooling möglich, generell Abwanderung von Fahrten des Umweltverbundes zum (autono-men) Fahrzeug.	Ergänzung des ÖPNV durch autonome Fahrzeuge, ins- besondere Ridepooling mit engmaschigen Netz an fle-xiblen Halte-punkten auch zu Schwachlastzeiten.	Die ausschließliche Nutzung autonomer Fahrzeuge als Ridepooling-Fahrzeuge betont den öffentlichen Charakter des neuen Mobilitätsangebots und stärkt den ÖPNV.	Ergänzung des ÖPNV durch autonome Fahrzeuge, insbe- sondere Ridepooling mit eng-maschigen Netz an flexiblen Haltepunkten auch zu Schwach-lastzeiten.	Der starke Push-Effekt im Kfz-Verkehr führt zu einer Verlagerung hin zum ÖPNV (und den anderen Verkehrsarten des Umweltverbundes)



Nachhaltigkeitsbewertung der Szenarien

- eher schlechte Bewertung
- mittlere Bewertung
- eher gute Bewertung

Tabelle 12 (rechte Seite):

der Straßennutzer:innen darstellen und müsste gleichermaßen für die Nutzer:innen manuell gesteuerter und autonomer Fahrzeuge gelten. Technisch ist dies durchaus realisierbar und wäre mit einer neuen Generation von Navigationssystemen unabhängig vom Automatisierungsgrad der Fahrzeuge möglich.

Schwierig dürfte vor allem die Vermittelbarkeit eines solchen Eingriffs sein, obwohl ein solches System bereits im Bahnwesen in Form der Sitzplatzreservierung längst weit verbreitet ist und dort gesellschaftlich nicht hinterfragt wird.

Fazit zum Unterszenario ‚Mobilitätswende für Klimaziele‘: Ein Vergleich der Kennwerte und eine vergleichende Bewertung der Szenarien findet sich in Tabelle 11 auf S. 38 bzw. nebenstehender Tabelle. Im Unterszenario ‚Mobilitätswende für Klimaziele‘ werden die meisten Nachhaltigkeitsindikatoren positiv gewertet. Die normative Limitierung der Verkehrsleistung führt zur Erreichung der Klimaziele, ist aber nur mit verhältnismäßig radikalen Mitteln zu erreichen. Neben einer erwartbar deutlichen Verteuerung des MIV scheinen auch weitreichende Eingriffe geeigneter Steuerungsinstrumente in die Privatsphäre der Autonutzer:innen erforderlich: So müssten freie Kilometerkontingente oder freie Kapazitäten in einem stark limitierten Straßennetz vor einer Fahrt „gebucht“ werden. Gegenüber den heutigen Gewohnheiten beim Autofahren wäre dies ein sehr weitreichender Eingriff.

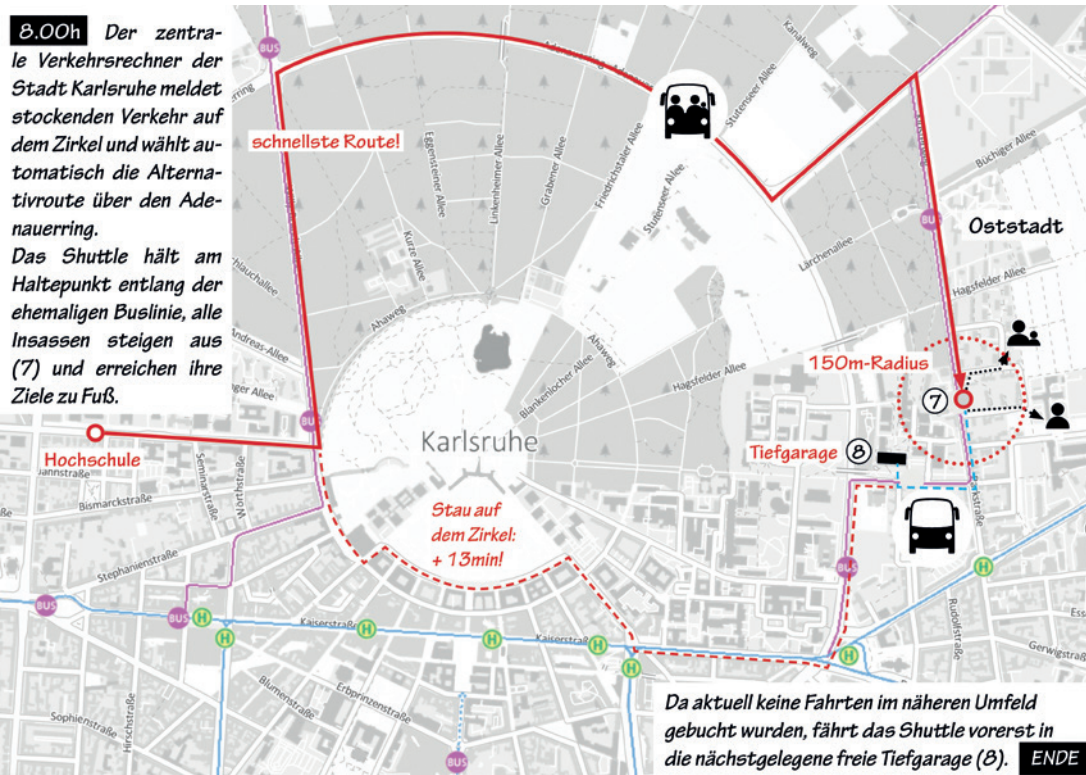
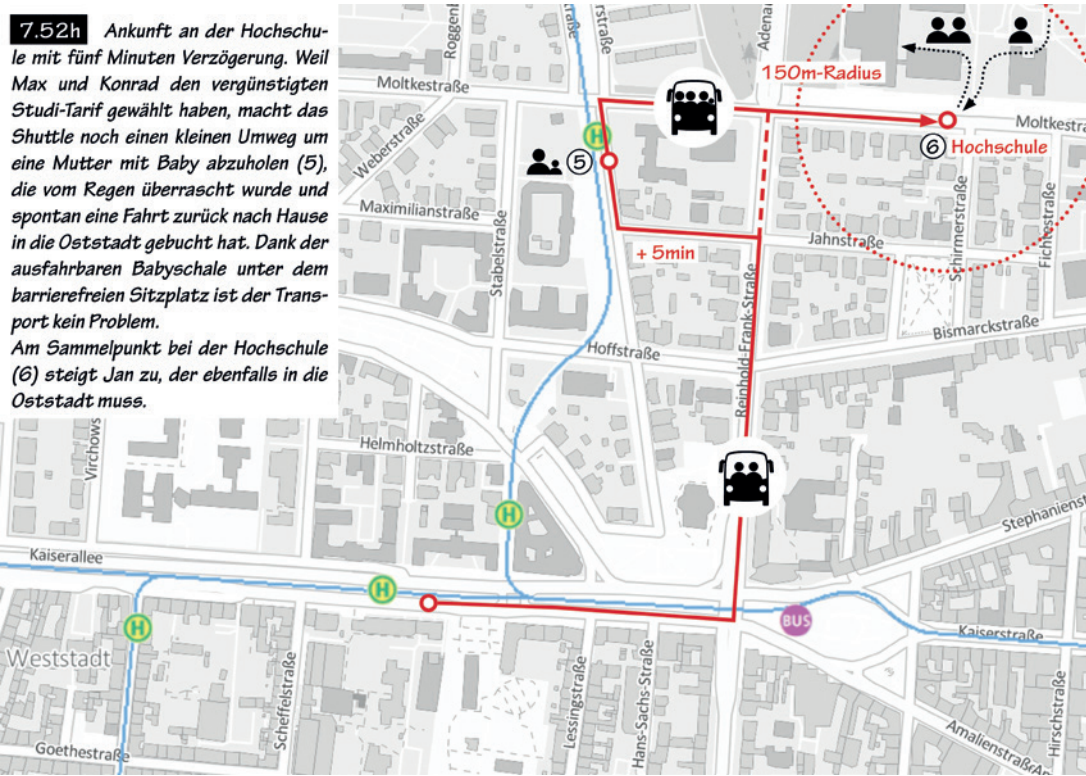
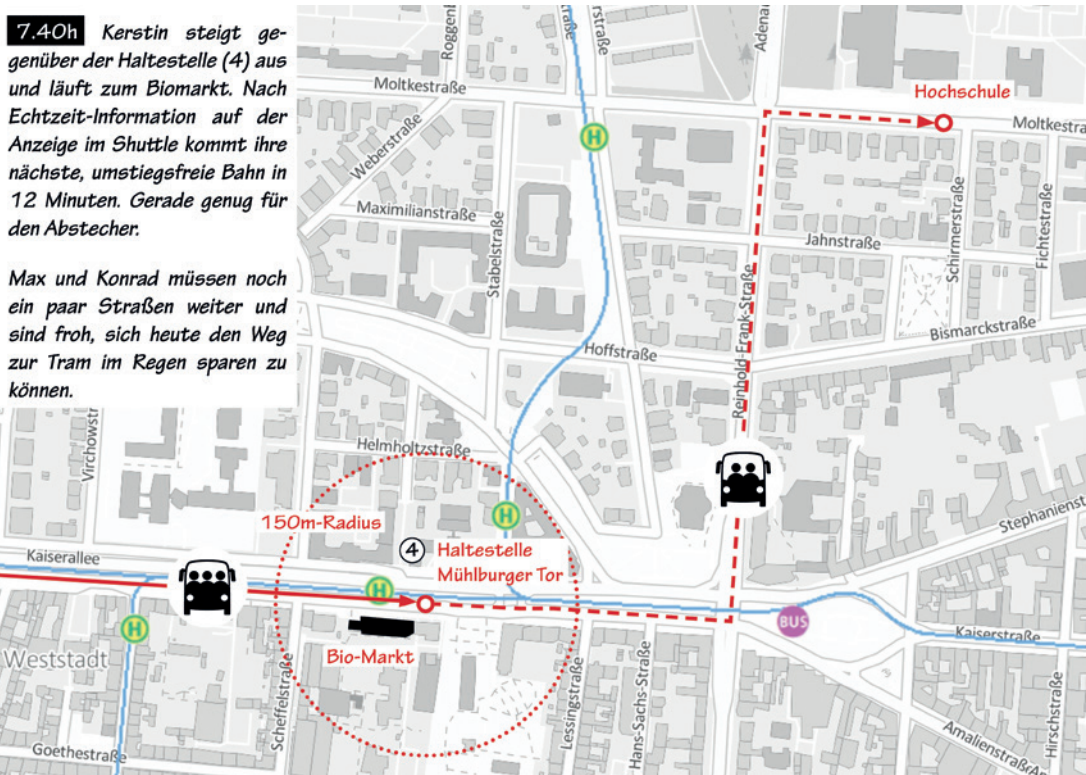
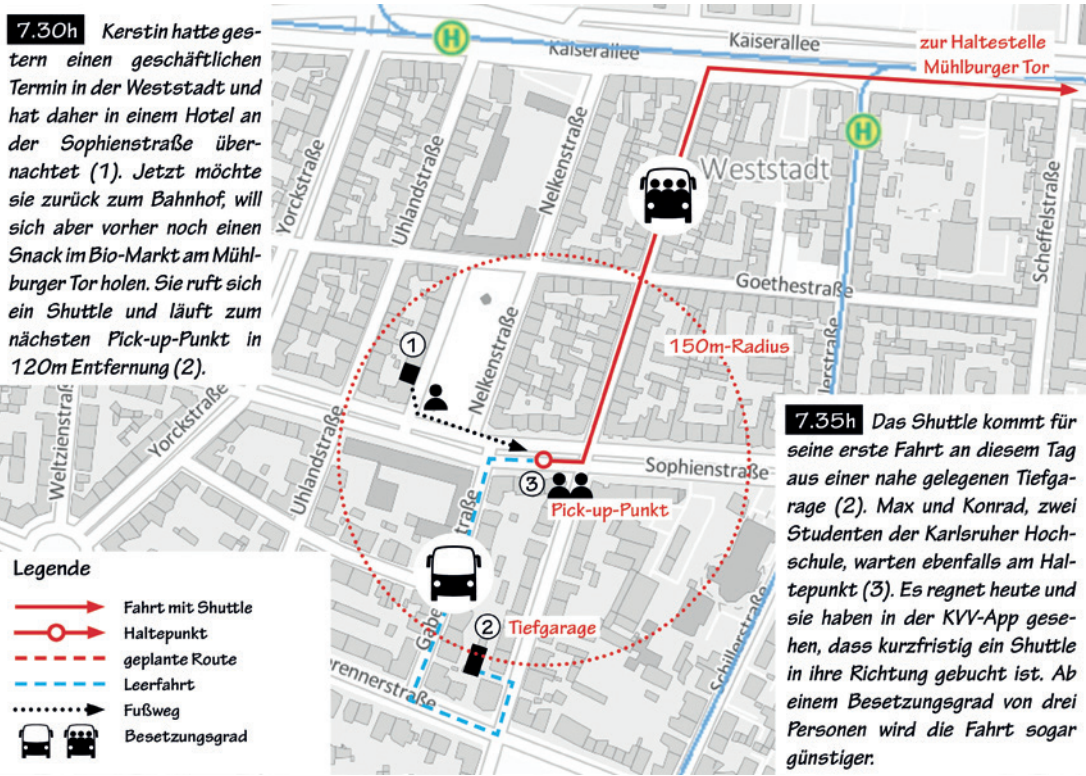
Jan Riel, Tim Reuber, Büro Köhler + Leutwein

Abb. 36

RIDEPOOLING-TOUR

Ridepooling bedeutet: „Fast den Komfort einer Taxi-Fahrt zu Kosten eines ÖV-Tickets“.

Abb. 37



DIE SZENARIEN AUS DER SICHT VON BÜRGER:INNEN

„Szenario ‚Trend‘ wird von Bürger:innen als riskant beurteilt. Sie wünschen sich eine Regulierung des autonomen Fahrens.“

In den Online-Befragungen waren Wünsche nach vielen zusätzlichen Fahrten geäußert worden. Was würden nun die Bürger:innen zu den Szenarien sagen, die im Projekt erarbeitet worden waren?

Das Format „Bürger:innendialog“ wurde zu einem Zeitpunkt im Projekt durchgeführt, als die zwei vorläufigen Szenarien ‚Trend‘ und ‚Sharing‘ entwickelt worden waren. Diese mit den Zahlen der Online-Umfrage untermauerten Szenarien wurden mit konkreten Auswirkungen für die Stadt Karlsruhe untermauert und den Bürger:innen präsentiert. Eine erste Modellierung stellte die Verkehrsbelastung auf dem Karlsruher Straßennetz dar. Auch lagen Visualisierungen für vier unterschiedliche Straßentypen in beiden Szenarien vor. Es bestand zu diesem Zeitpunkt noch keine Differenzierung des Szenarios ‚Sharing‘ in Unterszenarien, dazu lieferte erst der Bürger:innendialog einen entscheidenden Anstoß.

Im Bürger:innendialog wurden die 36 Teilnehmenden gebeten, die Szenarien kritisch zu prüfen und aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu diskutieren. Gewünscht war ein möglichst breites Spektrum an Perspektiven. Über die Akzeptanz der konkreten Szenarien hinaus wurden auch weiterführende Aspekte aufgenommen, die aus der Sicht der Beteiligten relevant waren, um Risiken des autonomen Fahrens möglichst auszuschließen und Chancen zu nutzen.

Versuchsaufbau und Sampling

Pandemiebedingt wurde die Veranstaltung in einem Onlineformat bzw. als Videokonferenz durchgeführt. Die Auswahl der insgesamt 36 Teilnehmenden wurde durch eine professionelle Rekrutierungsagentur unterstützt. Dabei stand im Vordergrund, dass die Teilnehmenden aus Karlsruhe und den Gemeinden aus dem Karlsruher Nachbarschaftsverband kamen und die einzelnen Fokusgruppen (s.u.) möglichst heterogen besetzt werden

konnten. Hinsichtlich Altersverteilung, Geschlecht und Wohnstandort innerhalb der Stadt bzw. des Nachbarschaftsverbands wurde eine Gleichverteilung angestrebt.

Ablauf und Einführung der Szenarien

Nach der Einführung zum Vorgehen und zur Szenarienbildung wurde für jeweils die Hälfte der Teilnehmenden eines der beiden im Projekt verwendeten Szenarien in Form einer vorab vertonten Präsentation vorgestellt. Zu diesem Zweck wurde ein fiktiver Spaziergang durch Karlsruhe im Jahr 2040 erzählt, in dessen Rahmen verschiedene Orte besucht und in „Gesprächen“ mit anderen Personen bestimmte Eigenheiten vorgestellt wurden. Für die Präsentation wurde eine Darstellungsform gewählt, in der zeichnerische Darstellungen mit realen Bildern gemischt wurden, um den Dialogteilnehmer:innen einen Eindruck zu vermitteln, wie sich die Szenarien auf das Leben und Bewegen im Stadtraum auswirken. Die Darstellung von Aspekten der Szenarien, die als Chancen bzw. Risiken gesehen werden konnten, wurde so vorgenommen, dass keinem der beiden Szenarien eine besondere Wertung oder ein Übergewicht positiver oder negativer Aspekte eingeschrieben wurde; sie wurden also beide mit positiv und negativ besetzten Aspekten ausgestattet und möglichst neutral formuliert.

Zusammengeführt wurden die Diskussionsfäden in einem abschließenden Gespräch mit allen Teilnehmenden. Dieses fand statt, nachdem jeder Gruppe auch das ihr bis dahin unbekannte Szenario vorgestellt worden war. So wurde sichergestellt, dass die Bürger:innen in der primären Auseinandersetzung mit einem der Szenarien nicht im Kontrast zu dem je anderen Szenario argumentierten, sondern das Szenario jeweils zunächst für sich genommen bewerteten.

Welche Reaktionen wurden zu den Szenarien geäußert, wie wurden sie bewertet?

In der Diskussion in den Szenariengruppen zeigte sich, dass die Teilnehmenden eine differenzierte Sichtweise zu beiden Szenarien entwickeln konnten. Es wurden durchaus unterschiedliche Themen diskutiert, die bei der Erörterung des jeweils anderen Szenarios zunächst nicht zur Sprache kamen – wie etwa Aspekte der stadträumlichen Gestaltung oder der Anwendungspraxis von Sharing-Konzepten. Insbesondere wurde deutlich, dass positive wie negative Entwicklungen auch immer an bestimmte Voraussetzungen geknüpft sind und nicht von selbst eintreten.

Einschätzungen zum Szenario ‚Trend‘:

Das Szenario ‚Trend‘ wurde im Einspieler mit einer stark angestiegenen Verkehrsmenge eingeführt, ein Verkehrsgeschehen, das durch ein Vielfaches der heute stattfindenden Fahrten und eine deutlich größere Flotte geprägt ist. Während sich an der Flächenverteilung im Vergleich zu heute nicht viel geändert hat, konkurrieren nun Parkplatzsuchende, Kurier- und Lieferdienste noch stärker um den viel zu knappen Straßenraum, der zudem durch meist nur schwach besetzte, oft auch leer zu einem der zahlreichen zusätzlichen Parkhäuser fahrende autonome Autos stark beansprucht wird.

In der Diskussion wurde die gesteigerte individuelle Freiheit und Unabhängigkeit positiv thematisiert, z.B. durch das Wegfallen von Begleitfahrten, ebenso der Komfortgewinn durch das Entfallen der Lenkaufgabe, womit die Fahrtzeit für andere Tätigkeiten frei würde. Es wurden auch eine allgemein erhöhte Verkehrssicherheit und damit sinkende Gesundheitskosten für die Allgemeinheit angenommen.

Zu den möglichen Kosten taten sich aber auch Befürchtungen auf, z.B. die, dass einkommensschwache Gruppen durch hohe Anschaffungskosten eines (autonomen) Pkw oder gestiegene Preise im ÖV

weiter benachteiligt würden. Dieser könnte durch den zunehmenden Individualverkehr verdrängt und rückgebaut werden. Durch den Mehrverkehr und die noch nicht absehbaren Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur wurden auch direkte negative Folgen für die Umwelt und Gesundheit identifiziert, z.B. durch Verkehrslärm.

Das Szenario ‚Trend‘ wurde von beteiligten Bürger:innen eindeutig als risikoreich betrachtet. Im Vergleich zum Szenario ‚Sharing‘, bei dem hinsichtlich nahezu aller Aspekte sowohl Chancen als auch Risiken als „zwei Seiten einer Medaille“ diskutiert wurden, wurden beim Szenario ‚Trend‘ gleich mehrere Aspekte ausschließlich als Risiko diskutiert.

Einschätzungen zum Szenario ‚Sharing‘:

Den Bürger:innen wurde eine Modellierung präsentiert, die weitgehend mit dem Unterszenario ‚Modal-Shift‘ übereinstimmt – eine Zukunft, in der nach Bedarf verfügbare, autonome Fahrzeuge als Teil des öffentlichen Verkehrs Fahrten im Carsharing- oder Ridepooling-Modus anbieten und durch den entsprechend reduzierten Bedarf von Stellplätzen im öffentlichen Raum Flächen für Begrünung, Aufenthalt und Spiel freierwerden. Es werden zwar mehr Fahrten in Autos zurückgelegt als im Prognose Nullfall, aufgrund des höheren Besetzungsgrades der Ridepooling-Fahrzeuge ist aber etwas weniger Autoverkehr auf der Straße zu sehen. Autonome Autos sind nicht zum privaten Eigentum zugelassen, es bestehen jedoch Ausnahmen für Menschen mit Behinderung.

Positives Feedback erhielt dieses Szenario im Hinblick auf Chancen für Gesundheit und Umwelt, wie z.B. die Möglichkeit, den Stadtraum stärker zu begrünen sowie eine geringere Lärmbelastung durch den reduzierten Verkehr. Die Integration autonomer Fahrdienste in das ÖV-Angebot wurde begrüßt und die Leistbarkeit von Mobilität zur Bedingung für die Akzeptanz dieses Szenarios gemacht. Nicht

„Szenario ‚Sharing‘ hat aus Bürger:innensicht viele Chancen, birgt aber auch Risiken, etwa sozial unangenehme Situationen oder sozial unausgewogene Kostensteigerungen.“

zuletzt wurden auch vorteilhafte Auswirkungen auf die Erscheinung des Stadtbilds mit mehr Platz für Fußgänger:innen, Cafés, Begrünungen etc. gesehen, die aber auch nur dann als realistisch eingestuft wurden, wenn die Flächen nicht einfach an den meistbietenden Investor verkauft würden. Damit wurden bereits Forderungen an die Gestaltung des politischen Prozesses angesprochen – wobei gleichzeitig Zweifel am politischen Willen artikuliert wurden, die erforderlichen Rahmenbedingungen durchzusetzen.

Risiken wurden, entgegen der Präsentation dieses Szenarios, in einer unkontrollierten Zunahme an Verkehr im Falle fehlender Steuerung gesehen, sollten die Sharing-Optionen wirklich so einfach und günstig verfügbar sein. Eine Gefahr wurde zudem beim Teilen einer Fahrt etwa mit betrunkenen, aggressiven oder kriminellen Mitfahrer:innen gesehen, denen in den kleinen Shuttle-Fahrzeugen nicht ausgewichen werden kann.

Es wurde Wert auf die Bequemlichkeit gelegt, demnach sollten aus dem Verzicht auf ein eigenes Fahrzeug keine Einbußen im Hinblick auf flexible Mobilität in allen Lebenslagen entstehen.

Insgesamt wurden in diesem Szenario deutlich mehr Chancen in Bezug auf das autonome Fahren gesehen als in dem eher von Risiken behafteten Szenario ‚Trend‘. Gleichwohl wird das Szenario ‚Sharing‘ nicht als eine „einzige große Chance“ gesehen, sondern durchaus mit bestimmten Risiken verknüpft.

Bedingungen, die an das autonome Fahren geknüpft wurden

Sowohl in der Diskussion der einzelnen Szenarien, als auch in der Plenumsrunde wurden grundlegende Bedingungen für die Einführung des autonomen Fahrens genannt.

Prominent formuliert wurde die Forderung, dass die Einführung des autonomen Fahrens nicht mit mittelbaren oder unmittelbaren *Privilegien* für finan-

ziell besser gestellte Haushalte einhergehen dürfe. Die Inanspruchnahme eines autonomen Fahrzeugs müsse für jeden erschwinglich sein und es dürfe *keine strukturelle Benachteiligung* bestimmter Gruppen durch soziale, ökonomische oder technologische Faktoren stattfinden.

Grundbedingung für eine Akzeptanz autonomer und geteilter Autos sei eine umfassende (Verkehrs-, Daten-, technische und persönliche) *Sicherheit*.

Auch die *Wahlfreiheit* – damit war einerseits die generelle freie Wahl der Art des zu nutzenden Verkehrsmittels gemeint, vor allem aber die Entscheidung für oder gegen die Nutzung eines autonomen Autos – sollte erhalten bleiben.

Fazit

Grundsätzlich standen die meisten Teilnehmenden den neuen Technologien offen gegenüber. Es wurden umfassende Ansprüche und Erwartungen an die neue Technologie geäußert – sie soll idealerweise mehr individuellen Komfort bei gleichzeitig niedrigen Mobilitätskosten bieten, eine zumindest ebenbürtige Flexibilität und Verlässlichkeit gegenüber dem heutigen Privatauto ermöglichen, das alles aber unter dem Ausschluss weiter anwachsender Verkehrsmengen und der Wahrung bzw. Herstellung eines ästhetisch gefälligen Stadtbildes. Im Vergleich zu den durchgeführten Online-Erhebungen zu Präferenzen in Bezug auf das autonome Fahren (s. S. 13 ff) fällt die große Diskrepanz zwischen den Ergebnissen auf: Als Ergebnis der Onlinebefragungen zeigte sich, dass die Befragten – jeweils aus ihrem persönlichen Blickwinkel – von den neuen Möglichkeiten des autonomen Fahrens rege Gebrauch machen würden, was in der Summe einen erheblichen Zuwachs des Verkehrs mit sich bringen würde. Im Rahmen des Bürger:innendialogs mit dieser Verkehrszunahme konfrontiert, wurde diese jedoch eindeutig als unerwünscht markiert. Dies erklärt sich teilweise aus dem Format der Gruppendiskussion, in der Teilnehmer:innen ein ge-

wisses Maß an sozialer Erwünschtheit zeigen, also eher eine Meinung äußern, die in der Gruppe auf Anklang stößt als eine konträre. Maßgeblich scheint uns aber auch zu sein, dass die Teilnehmenden des Bürger:innendialogs ihre Meinung deutlich informierter in Bezug auf die sozialen Konsequenzen individueller Entscheidungen vertraten, als dies die ‚uniformiert‘ befragten Teilnehmer:innen der Online-Umfrage tun konnten.

An anderer Stelle (Fraedrich und Lenz, 2015) wurde bei solchen Gruppendiskussionen zudem beobachtet, dass eine differenzierte Auseinandersetzung und Bewertung des autonomen Fahrens erst unter Berücksichtigung des relevanten „Akzeptanzkontextes“ möglich ist, wenn also eine gewisse Informationsbreite über die Einbettung der Technologie in verschiedene Alltagsszenarien bekannt ist.

Am Beispiel der vorliegenden Untersuchung wird

deutlich, wie weitreichend dieser Akzeptanzkontext im Fall des autonom fahrenden Fahrzeugs zu verstehen (und zu klären) ist. Er reicht von der Mikroebene des Individuums im Fahrzeuginnenraum, Interaktionsformen in und mit dem Fahrzeug, über die Einbettung verschiedener Dienste und Geschäftsmodelle rund um autonomes Fahren und der Frage, wie autonom fahrende Fahrzeuge das Stadtbild und Lebensgefühl verändern, bis hin zu gesamtgesellschaftlich relevanten Themen wie sozialer Gerechtigkeit und ökologischer Verantwortung.

Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht, Jan Riel, Josua Sequenz



Abb. 38:
Virtuelles
Dialogformat via
Zoom im Juni
2021.

STEUERUNGSSINSTRUMENTE ZUR VERRINGERUNG VON FAHRTEN

In diesem Baustein wurde ein prototypisches System zum Management von Kfz-Fahrten entwickelt, mit dem die Verkehrsstärke in sensiblen (innerstädtischen) Bereichen mit hohen Anforderungen an die Aufenthaltsqualität gedrosselt werden kann, z.B. ‚abstimmungsintensive Straßen‘, oder Knotenpunkte vor Überlastung geschützt werden können. Denkbar ist auch eine Limitierung der Verkehrsleistung im Sinne des Klima- oder Lärmschutzes.

Mithilfe einer geeigneten Kommunikation zwischen Fahrzeugnavigation und einer Verkehrsleitzentrale wäre ein „straßenscharfes“ Verkehrsmanagement durchaus möglich. Dabei müssen die Fahrzeuge (wie auch bei den durchgeführten Tests) nicht unbedingt autonom unterwegs sein. Eine Fahrzeugnavigation mit den im Folgenden beschriebenen Fähigkeiten wäre – je nach Anspruch an den Schutz vor Missbrauch bzw. Umgebung des Systems – mit überschaubarem Aufwand in jedem Fahrzeug nachrüstbar.

Eine App zur Buchungsanfrage für Autofahrten

Der Ansatz des Systems orientiert sich dabei im Wesentlichen an einem Buchungssystem, wie es z.B. bei der Deutschen Bahn bei der Sitzplatzreservierung zum Einsatz kommt: Es werden Quelle, Ziel, Zeitraum und Route einer gewünschten Fahrt an einen Server geschickt. Dort wird geprüft, ob

die zur Verfügung stehende Kapazität auf allen Teilabschnitten der Fahrt für die eingehende Fahrtenanfrage ausreicht. Wird die Kapazität auf einem Streckenabschnitt erreicht, wird die Fahrt in der geplanten Form nicht zugelassen. Es können dann folgende Reaktionen der Nutzer:innen erfolgen:

- Umfahrung des Streckenabschnitts auf einer anderen Route,
- Verschiebung der Fahrt auf einen anderen Zeitpunkt,
- Unterlassen der Fahrt oder Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel.

Schritt 1: Definition eines erweiterten Testfeldes

Das Steuerungsinstrument wurde in einem größeren Bereich in der Innenstadt und innenstadtnahen Quartieren von Karlsruhe getestet, so dass eine Vielzahl verschiedener, sich überlagernder Routen möglich sind. Dazu wurden die Streckenabschnitte des *Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg* im Osten der Stadt um den gesamten Innenstadtbereich erweitert (s. Abbildung auf dieser Seite).

Schritt 2: Definition von Zählstellen

Um die Verkehrsstärke auf den untersuchten Streckenabschnitten zu ermitteln, wurden im Verlauf einer Woche stundengenaue Verkehrszählungen erhoben. Diese Verkehrsstärken werden im Rahmen des Tests als „vorliegende Buchungen“ interpretiert.

Schritt 3: Definition von Obergrenzen für Verkehrsstärken

Für die definierten Kontrollpunkte wurden Grenzen einer maximal zulässigen Verkehrsstärke festgelegt. Mit den so aufbereiteten Zahlen stand eine Datenbasis zur Verfügung, auf welche die im Folgenden beschriebene App-Anwendung als Steuerungsinstrument aufsetzen konnte.

„Diese App kann den Verkehr auf den Straßen drosseln...“

Die Technik

Server-Software

Der Prototyp für ein solches System wurde vom Labor für GNSS & Navigation der HKA (<http://goca.info/Labor.GNSS.und.Navigation/index.php>) entwickelt und auf dem *Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg* getestet. Es können verkehrs- und belastungsabhängige Routenplanungen für (autonome) Fahrzeuge erfolgen. Dabei werden die o.g. Streckendaten unter Berücksichtigung aller bisher erfolgten „Buchungen“ dynamisch aktualisiert. Die von den potenziellen Nutzer:innen kommenden Fahrtanfragen und Routenplanungen werden über den Google-Server mit dem Google-Maps-Dienst berechnet und an die App weitergeleitet. Ein zweiter Dienst führt dann die iterierenden Berechnungsschritte für die gewünschte, alternativ früher oder später stattfindende Fahrt, sowie die Freigabe oder auch Ablehnung der Routenanfrage in Echtzeit durch.

Die entwickelte Serversoftware ist portabel gehalten und unter Windows und Linux lauffähig. Aufgrund zu vieler Einschränkungen auf dem Testfeld-Server des FZI wurde die Software nicht auf diesem implementiert, sondern auf dem professionellen baden-württembergischen BW-Cloud-Server (<https://www.bw-cloud.org/>). Sie ist dort für Echtzeitanwendungen verfügbar.

Auf dem BW-Server sind konkret zwei Server-Softwarepakete bzw. Dienste installiert:

- Der erste Dienst umfasst die Einbindung von Google-APIs, welche die Route für eine bestimmte Fahrtanfrage durch die Benutzer-App liefern. Die Routendaten werden dabei mithilfe der Google-Maps-API und der Google-Direction-API in Echtzeit vom Google-Server abgeleitet.
- Die zweite im Rahmen von AutoRICH entwickelte und auf dem BW Cloud-Server implementierte Software-Komponente umfasst den Verkehrsdatenbankserver. Sie führt die Backend-Data-Kern-

dienste der Datenverwaltung und die kaskadierende Entscheidungslogik (gewünschte, alternative frühere Route, alternative spätere Route) zur Routenplanung bis zur Freigabe oder Ablehnung einer Route durch.

Client-Software (Smartphone-App)

Die Smartphone-App (Client) bildet ein autonomes Fahrzeug mit einem Fahrtwunsch zu einer vom Benutzer (User) wählbaren Zeit und Ziel ab und schickt diesen an die o.g. Serveranwendung. Auch der Client wurde im Labor für GNSS & Navigation entwickelt. Das verwendete Betriebssystem ist Android. Die Überführung der gesamten Softwarearchitektur in anderes Smartphone-Betriebssystem (z.B. iOS) ist jederzeit möglich.

Das client-seitig gewünschte Routing wird als Request in Echtzeit vom AutoRICH-Verkehrsmanagement-Server behandelt: Benutzer:innen des Smartphone-Clients geben auf ihrem Smartphone die gewünschte Route und Zeit für eine autonome Fahrt vor und erhalten nach serverseitigen Berechnungen unter Einbeziehung der Streckenkontingentierung, die direkt oder in kaskadierender Entscheidungslogik serverseitig genehmigte Routinginformation in bidirektionaler Kommunikation. Jede einzelne Smartphone-App (Client) kommuniziert also das gefundene Routing über Internet an den Server zur Aktualisierung der (verbleibenden) Streckenkontingente zurück.

Die Benutzer-Apps kommunizieren mit dem BW-Cloud-Server im TCP/IP-Protokoll, um die Verfügbarkeit der von der Google-Komponente vorgeschlagenen Route basierend auf dem Verkehrslimit der Streckenkontingentierung für das gewählte Zeitfenster (Wochentag und Uhrzeit) zu überprüfen. Der komplette Ablauf der Server-Client-Anwendung wird auf der folgenden Seite dargestellt.

Die beschriebenen Funktionalitäten der AutoRICH-Software (Server und Client) wurden im Rahmen

Abb. 39:

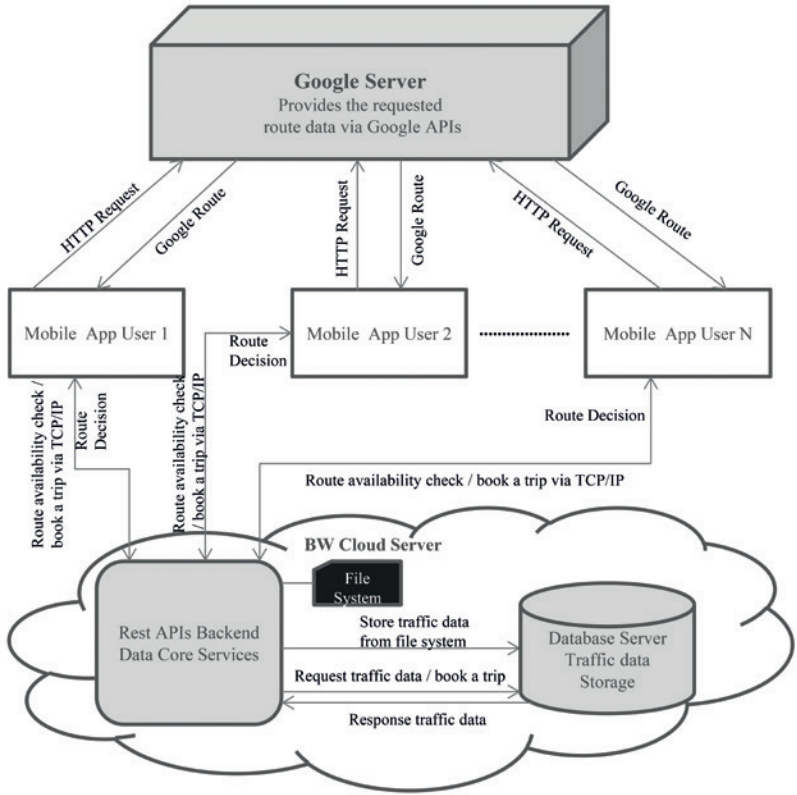
Erweitertes Testfeld (blau) und Lage der Kontrollpunkte (schwarz).

Quelle: Taubitz, 2021.



„...aber sie setzt Verhaltensänderungen der Nutzenden voraus, etwa die Buchung jeder Fahrt vor dem Start.“

Abb. 40:
Prinzipdarstellung
des Server-Client-
Systems. Als
Server wird der
professionelle
BW-Cloud-Server
verwendet. Die
Abbildung zeigt
den schematischen
Ablauf des
Versuchs „Strecken-
kontingente“



der Thesis Taubitz (2021) erfolgreich getestet. Noch nicht integriert sind derzeit weiterführende Features wie z.B. eine Bezahlungsfunktion oder Routinen zur Kontrolle „gebuchter“ Fahrten (Einhaltung von Fahrzeit und Route) oder auch der Nicht-Durchführung von Fahrten zu Zeiten mit zu hohen Verkehrsstärken auf der Route. Der Prototyp ist für das *Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg* verfügbar und kann bei Bedarf dort genutzt, skaliert und in der Funktionalität weiterentwickelt werden. Die Abbildungen auf der nächsten Seite zeigen die Anwendung der Smartphone-App aus Nutzer:innensicht.

Übergeordnete Einordnung

Das entwickelte System zielt auf die technische Machbarkeit eines Instruments zur Verkehrssteuerung ab. Verschiedene funktionale, gesellschaftliche und rechtliche Aspekte wurden dabei im Rahmen von AutoRICH nicht berücksichtigt, werden aber hier kurz angerissen:

Rechtliche Unsicherheit: Ein Eingriff in den MIV in der Art, dass einzelne (private) Fahrten je nach Verkehrslage zumindest zum gewünschten Zeitpunkt oder auf der gewünschten Route nicht zugelassen werden, wäre unabhängig von der technischen Machbarkeit beispiellos und könnte einen Eingriff in verschiedene Grundrechte bedeuten. Inwiefern

der gesellschaftliche Nutzen (Lärmschutz, Gesundheitsschutz, Klimaschutz) eines solchen Instruments gegenüber den Einschränkungen von Grund- oder Persönlichkeitsrechten überwiegen würden, wäre zu klären.

Gesellschaftliche Akzeptanz: Die Implementierung eines Steuerungsinstruments zur Limitierung von Fahrten mit dem MIV ist grundsätzlich möglich. Dennoch ist die gesellschaftliche Akzeptanz einer solchen Maßnahme unsicher. Beschränkungen des Verkehrs können gesellschaftlich sehr umstritten sein. Dies zeigt die Diskussion um ein generelles Tempolimit auf den Autobahnen, welches erst seit jüngster Zeit von einer Mehrheit der Deutschen befürwortet wird.

Datenschutz: Mit der Erfordernis einer „Anmeldung“ jeder Autofahrt an einer zentralen Stelle würden enorme Mengen personenbezogener Daten anfallen. Die datenschutzrechtlichen Hürden müssten geklärt und der technische Rahmen für deren Einhaltung definiert und geschaffen werden.

Möglicher Missbrauch: Eine Verknappung von Gütern kann zu beachtlichen Auswirkungen auf dem Markt führen. Mögliche Szenarien, wie z. B., dass in großem Stil Fahrtenkontingente gekauft werden, um diese dann auf einer neuen Form des Schwarzmarktes lukrativ weiterzuverkaufen, wurden im Rahmen von AutoRICH nicht weiter betrachtet.

Integration in Fahrzeuge: Im entwickelten Prototyp stellt die Smartphone-App auf Seite der Nutzer:innen die einzige Schnittstelle zum Server dar. Im realen Einsatz müsste die „Buchung“ einer Fahrt zusätzlich mit einem Fahrzeug verbunden werden bzw. sichergestellt werden, dass Fahrzeuge nicht ohne bestehende Buchung eine Fahrt antreten.

Insofern besteht noch umfassender Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu mehreren Aspekten im Zusammenhang mit einem solchen System.

Reiner Jäger, Jan Riel, Naznin Akter

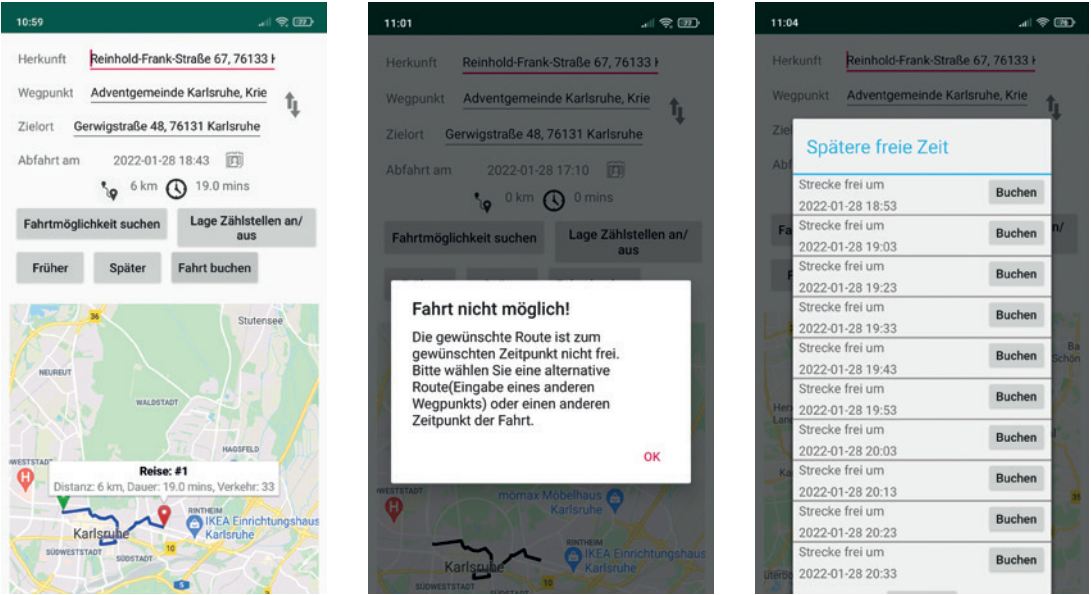


Abb. 41:
Route ist verfügbar
und wird angezeigt
(links), Meldung für
nicht verfügbare
Route (Mitte) und
Anzeige späterer
freier Zeiträume
(rechts)



AUTONOMES FAHREN: ABSTIMMUNGS- ORIENTIERTE SITUATIONEN IM TEST

WIE BEGEGNEN SICH AUTONOME FAHRZEUGE UND PASSANT:INNEN?

Fragestellung

Straßen haben nicht nur die Aufgabe, Orte miteinander zu verbinden, sondern erfüllen, je weiter innerorts sie liegen, zunehmend auch *Aufenthalts- und Erschließungsfunktion*. Dort ist der Straßenraum auch Ort für Begegnung und Austausch, Aufenthalt und Spiel. Zahlreiche Straßenumbauten der letzten Jahre orientieren sich dabei an dem sogenannten ‚Shared-Space‘-Gedanken, bei dem das Begehen bzw. Befahren mit langsamen Geschwindigkeiten und gegenseitiger Rücksichtnahme geboten ist.

Prominente Beispiele sind z.B. der *Umbau der Neuen Straße in Ulm* im Jahr 2006, die von einer vierstreifigen Hauptverkehrsstraße zu einer Tempo-20-Straße mit der Möglichkeit einer linearen (also nicht auf bestimmte Querungsmöglichkeiten wie Ampeln oder Zebrastreifen reduzierten) Querbarkeit für den Fußverkehr umgestaltet wurde. Oder der *Umbau der Tübinger Straße in Stuttgart*, der auf ein verbessertes Erscheinungsbild des öffentlichen Raumes vor den zahlreichen Geschäften fokussierte und Flächen zu Lasten des Kfz-Verkehrs bzw. zu Gunsten des Fuß- und Radverkehrs sowie für Aufenthalt und Begrünung umverteilte. Im Bereich der Knotenpunkte wurde sogar auf eine Separation von Fuß- und Kfz-Verkehr vollständig verzichtet und stattdessen eine einheitlich gestaltete Mischfläche gebaut. Auch im ländlichen Raum finden sich solche Umbauten, z.B. in der *Ortsmitte von Rudersberg*. Die Umbauten sind häufig von dem ‚Shared Space‘-Gedanken beeinflusst. Dieser „... verfolgt ursprünglich den Anspruch, in Bezug auf die Interaktion zwischen Fahrzeugführern und Fußgängern auf der Fahrbahn weitestgehend auf eine Verkehrsregelung zu verzichten“ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2015).

Der ‚Shared-Space-Ansatz‘ wurde in den 2010er Jahren in Deutschland intensiv diskutiert, wurde jedoch bisher nicht als eigenständiges Element in den RASt oder deren nachgeordneten Regel-

werken aufgenommen. Dennoch haben sich Straßenumbauten im o.g. Sinne unter dem Begriff der ‚Mischfläche‘ in der Stadt- und Verkehrsplanung etabliert. Es vermischen sich die Funktionen bzw. die Nutzungen, der zur Verfügung stehende Raum kann „... gleichberechtigt von allen Verkehrsteilnehmern, Autofahrerinnen, Fußgängern, Radfahrern genutzt werden...“ (VCD Verkehrsclub Deutschland e.V., 2009). Der Verzicht oder zumindest der stark reduzierte Einsatz von Verkehrsregelungen bedingt jedoch eine erhöhte Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmer:innen. Abstimmung und gegenseitige Rücksichtnahme ersetzen formelle Regeln.

Die Frage, die sich im Rahmen dieses Projektes ergibt, lautet: Wie funktionieren abstimmungsbasierte Situationen im Straßenverkehr heute und welche Empfehlungen lassen sich daraus ableiten für die Verhaltensweisen autonomer Fahrzeuge?

Definition: ‚Abstimmungsintensive Straßen‘

Die Straßen, wie die oben genannten, um die es hier gehen soll, werden in diesem Projekt als *abstimmungsintensive Straßen* bezeichnet. Diesen ist fast immer gemein,

- eine Umverteilung der (Verkehrs)fläche zu Gunsten von Grün, Aufenthalt, Rad- und Fußverkehr,
- eine gestalterische Neukonzeption, häufig in Form von veränderten Oberflächen und einer (starken) Reduzierung der Separation zwischen Kfz-, Fuß- und Radverkehr,
- eine Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeiten im Kfz-Verkehr,
- eine starke Durchmischung der Verkehrsarten,
- eine Belebung des öffentlichen Raums.

Die Versuche im Rahmen des Projekts teilten sich in eine Vorstudie, die in der Karlsruher Innenstadt durchgeführt wurde, einen Test, in dem Proband:innen unterschiedliche Signale eines Fahrfahrzeugs interpretieren sollten, sowie eine Experimentalstudie auf dem KIT-Campus Ost.

„Optische Signale autonomer Fahrzeuge sind nicht ohne weiteres verständlich.“

Vorstudie

In der Vorstudie fuhr ein mit Kameras und Sensoren ausgestattetes, jedoch konventionell gesteuertes Auto durch die Karlsruher Innenstadt, wobei die Abstimmung zwischen Fahrzeug (bzw. Fahrer:in)

und Verkehrsteilnehmer:innen beobachtet wurde. Daraus sollten Ansprüche an die ‚Kommunikationsfähigkeiten‘ autonomer Fahrzeuge formuliert und die Wahl der Kommunikationsschnittstelle eingegrenzt werden (Lichtleisten, Symbole, Display etc.). Die Kameraüberwachung der Fahrer:in sollte zudem die zentrale Frage klären, inwieweit ein Blickkontakt zwischen Fahrzeugführer:in und Passant:innen Bedingung für eine Abstimmung ist.

In der Auswertung zeigte sich, dass Verkehr mit Beteiligung von Radfahrer:innen und Fußgänger:innen eine Vielfalt an Konstellationen und Situationen ermöglicht, die teils nicht der StVO entsprechen. Für das weitere Vorgehen im Rahmen der Experimentalstudie wurden die Situationen mit Fußgänger:innen betrachtet, da hier der größte Abstimmungsbedarf zu entstehen schien.

Abb. 42:
Teststrecke durch die Karlsruher Innenstadt in der Vorstudie



Abb. 43:
Typische abstimmungsintensive Straße am Rande der Karlsruher Innenstadt (Erbprinzenstraße)



Die Erbprinzenstraße ist als Fahrradstraße ausgewiesen und im befahrenen Abschnitt für den Kfz-Verkehr freigegeben. Der Fußgängerverkehr wird getrennt geführt. Eine Besonderheit ist, dass auf beiden Seiten der Fahrbahn Bereiche gepflastert sind, während in der Mitte ein asphaltierter Streifen verbleibt, dessen Breite lediglich für ein Auto ausreicht. Es ist zu beobachten, dass hauptsächlich dieser von den Autos benutzt wird, die Pflasterbereiche werden nur bei Begegnungsfällen genutzt.

Test zum Verständnis optischer Signale

Der Test wurde in mehreren Durchläufen und in mehreren Semestern an der Hochschule Karlsruhe in Form von animierten Bildschirmpräsentationen im Rahmen von Lehrveranstaltungen durchgeführt. Für den Test wurden zwei Arten von Signalen ausgewählt – einerseits ‚Lichtleisten‘, wie sie von der Industrie bereits in verschiedenen Formen getestet werden, andererseits Projektionen auf die Windschutzscheibe.

Bei allen Designvarianten gab es eine hohe Fehlerquote bzw. keine Antwort bei der Deutung der Signale. Es herrschte Unsicherheit darüber, ob sich die Signale auf das Auto (Statusmeldung) oder den:die Passant:in (Ansage) bezogen. Die Verwirrung lag auch darin begründet, dass sich die Signale keiner im Straßenverkehr bekannten Symbolik zuordnen ließen.

Bei den ‚Projektionen auf die Windschutzscheibe‘

wurden rote und grüne (bzw. traurige und lachende) Smileys, Worteinblendungen (‚Stop!‘ und ‚Go!‘), rote und grüne Ampelmännchen sowie eine vollflächige rote bzw. grüne Einfärbung der Windschutzscheibe getestet. Auch hier herrschte bei allen Varianten, mit Ausnahme der Ampelmännchen, Verwirrung über den Adressanten bzw. den Sinn des Signals. Im Ergebnis wurde das Ampelmännchen als Projektion auf die Windschutzscheibe ausgewählt: Es erhielt die größte Zustimmung von Seiten der Proband:innen, da es klar als ‚Ansage‘ erkannt wurde und aus den gängigen Signalen im Straßenverkehr bereits bekannt war.

Experimentalstudie auf dem Campus Ost

Die Experimentalstudie wurde auf einer Kreuzung auf dem KIT-Campus Ost durchgeführt, einem abgeschlossen, mit der nötigen Infrastruktur ausgestatteten Gelände, das Teil des Testfeld

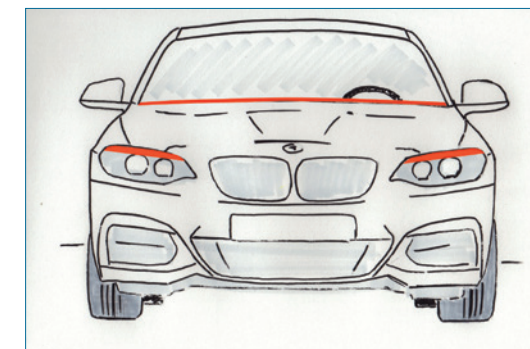
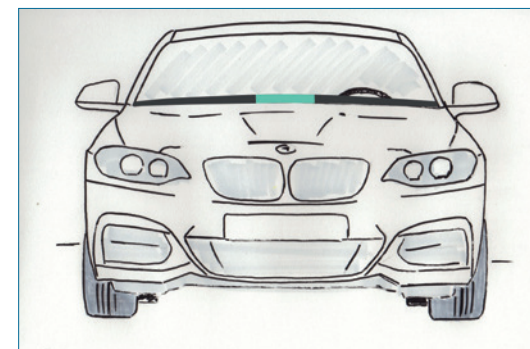


Abb. 44:
Fahrzeuge kommunizieren mit Lichtleisten

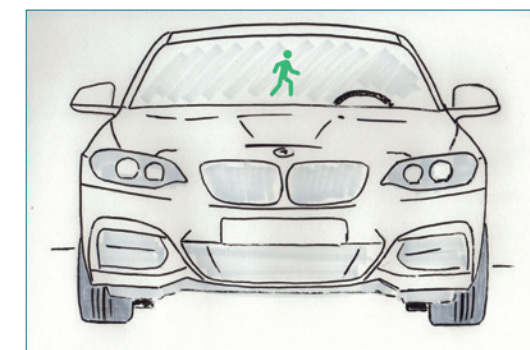
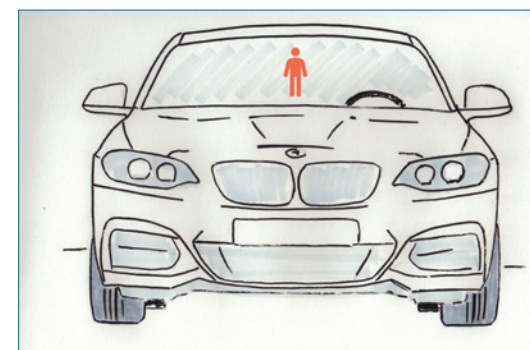


Abb. 45:
Fahrzeuge kommunizieren mit Ampelmännchen

„Wichtig für die Begegnung zwischen autonomem Fahrzeug und Passant:in ist das Tempo und der Abstand des Fahrzeugs, weniger der Blickkontakt.“

Autonomes Fahren Baden-Württemberg ist. Dort wurden die Interaktionen der Proband:innen mit dem Fahrzeug aus zehn verschiedenen Videoperspektiven beobachtet, u.a. mit Eye-Tracking-Brillen, zudem wurde zusätzlich durch Messtechnik protokolliert (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Radstand, Signalsetzung etc. des Fahrzeugs). Die Proband:innen hatten in einer Serie von Fahrversuchen die Aufgabe, die Straße im Bereich einer Kreuzung zu queren, während sich das Fahrzeug mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, aus verschiedenen Richtungen und teils mit und teils ohne Einsatz des Ampelmännchens den querenden Personen näherte. Die Sicherheitsfahrer:in war dabei in zwei verschiedenen Fahrmodi unterwegs: Im ‚*autonomen Modus*‘ verhielt sich die Fahrer:in wie ein autonomes Fahrzeug: Das Annäherungsverhalten an die Fußgänger:innen orientierte sich an den heutigen Verhaltensweisen autonomer Fahrzeuge und es gab keinen Blickkontakt oder Gesten zu den Probanden. Sie trug außerdem Sturmhaube und Sonnenbrille. Damit sollte herausgefunden werden, welche Rolle der Blickkontakt bei der Abstimmung zwischen Kfz und Fußgänger:innen spielt. Im ‚*menschlichen Modus*‘ war das Gesicht der Fahrer:in nicht verhüllt, das Fahrverhalten war etwas offensiver. Verschiedene Versuche wurden durchgeführt, von denen hier exemplarisch einer ausführlicher dargestellt wird: Um zu testen, ab welcher Distanz zu einem sich nähernden Fahrzeug die Proband:innen die Querung der Furt als sicher erachteten, wurden sie gebeten, bei sich näherndem Fahrzeug ein Gefühl der Unsicherheit durch Heben einer Hand deutlich zu machen (s. Abbildung S. 59).

Nach Auswertung der Videosequenzen sowie Interviews mit den Proband:innen ergaben sich folgende Erkenntnisse:

- Die wahrgenommene Blickrichtung der Fahrer:in sowie Blickkontakt spielte keine Rolle für die Kommunikation zwischen Passant:in und Fahrzeug. Die Proband:innen schätzten überwiegend anhand des *Verhaltens* des Fahrzeugs ein, ob sie sicher queren konnten.
- Geschwindigkeiten von 3 km/h und weniger wurden als ein ‚Zum-Stehen-Kommen‘ des Fahrzeugs interpretiert und daraus die Gelegenheit zum Queren der Straße abgeleitet.
- Bei Geschwindigkeiten zwischen 3 und 10 km/h erkennen Fußgänger:innen ein Interaktionsangebot. Innerhalb dieser Geschwindigkeitsgrenzen spielen sich also relevante und notwendige Abstimmungsprozesse ab.
- ‚Unwohl‘ auf Grund des sich nähernden Fahrzeugs fühlen sich die Proband:innen je nach Geschwindigkeit und Abstand des Fahrzeugs: Bei 10 km/h liegt der „(Un-)Wohlfühlabstand“ bei ca. 10 m, bei 3 km/h bei ca. 3 m.
- Die Proband:innen reagierten besonders im Nahbereich unter 10m sehr sensibel bereits auf kleinste Geschwindigkeitsänderungen des Fahrzeugs.
- Das Ampelmännchen führte anfangs zu Irritationen, nach einer Eingewöhnungsphase wurde die ‚Anzeige‘ (insbesondere des roten) Ampelmännchens verstanden.
- Bei Geschwindigkeiten über 10 km/h scheinen sich Fußgänger:innen vor der Querung einer Straße an den Fahrzeugen zu orientieren und auf eine geeignete Lücke zur Querung zu warten. Geschwindigkeit und Entfernung des Fahrzeugs scheinen also als ‚Anzeige‘ an den Fußverkehr auszureichen.
- Der Blickkontakt zwischen Fahrer:in und Passant:in spielt nur eine untergeordnete Rolle. Bestehende Signale (vor allem Geschwindigkeit und Abstand) reichen aus, um das Funktionieren des Verkehrs sicherzustellen.

Übertragung auf abstimmungsintensive Straßen
Aufenthaltsqualität wird von zahlreichen Faktoren



Abb. 46:
Hand-Heben
als Zeichen für
aufkommende
Unsicherheit



Abb. 47:
Mithilfe der
Analysesoftware
ELAN wurden die
einzelnen Kamera-
perspektiven
übereinander-
gelegt.

„Autonome Fahrzeuge sollten ‚abstimmungsintensive Straßen‘ erkennen und sich in Pulks organisieren.“

geprägt. Der Straßenverkehr beeinflusst die Aufenthaltsqualität vor allem in Form der Barriere Wirkung, die gerade in den urbanen Bereichen möglichst gering sein soll. Positiv ausgedrückt: Die Querbarkeit von Straßen soll möglichst gut sein, was sich in möglichst geringen Wartezeiten für den Fußverkehr beim Queren einer Straße ausdrücken lässt.

In einem modellhaften Rechenansatz wurden in einer Masterarbeit (Francis-Xavier, 2022) die gewonnenen Erkenntnisse dahingehend untersucht, in welchem Zusammenhang Geschwindigkeit, Verkehrsstärken und Wartezeit zum Fußverkehr stehen. Dabei stellte sich heraus, dass je nach Verkehrsstärke eine gezielte Wahl der Geschwindigkeit sowie die Bildung von Fahrzeugpulks die Wartezeit der Fußgänger:innen positiv beeinflusst werden kann.

Die Abbildungen auf der rechten Seite zeigen die Wartezeit querender Fußgänger:innen jeweils in Abhängigkeit von Kfz-Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Anzahl der in einem Pulk fahrenden Fahrzeuge.

Hinweise zu Abb. 49–51:

1) Die Höhenskala (mittlere Wartezeit querender Fußgänger) ist aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf 40 Sekunden begrenzt. Die Wartezeiten steigen mit zunehmender Kfz-Verkehrsstärke tatsächlich weiter an.

2) Säulen mit der Höhe null bedeuten, dass keine ausreichenden ‚Komfortzonen‘ zwischen den Fahrzeugen mehr bestehen, im Modellansatz also keine

Fußgänger mehr queren können.

Bei einzeln fahrenden Fahrzeugen wird deutlich, dass bereits bei sehr geringen Kfz-Verkehrsstärken hohe Wartezeiten für den Fußverkehr auftreten. Bei Tempo 30 tritt dies bereits bei einer Verkehrsstärke von 200 Kfz/h pro Fahrstreifen (bzw. 400 Kfz/h im Querschnitt) ein. Grund hierfür ist, dass bei diesem Tempo die von den Fußgänger:innen als komfortabel empfundenen großen Sicherheitsabstände auch bei großen Abständen zwischen den Autos schnell unterschritten werden. Bei dem sehr langsamen Tempo von 3 km/h blockieren dagegen die Fahrzeuge selbst relativ lang die Straße.

Die Bildung von Pulks wirkt sich dagegen positiv aus: Durch die ‚Bündelung‘ von Fahrzeugen zu Pulks wird die Querbarkeit der Straße auch bei höheren Verkehrsstärken möglich. Die Wartezeiten verringern sich bei gleicher Verkehrsstärke gegenüber einzeln fahrenden Fahrzeugen deutlich. Ab einer Pulklänge von 6 Fahrzeugen wirkt sich zudem Tempo 20 gegenüber den langsameren Geschwindigkeiten positiv aus. So sind bei 6er-Pulks Wartezeiten von 20 Sekunden noch bei Verkehrsstärken von 400 Kfz/h und Richtung bzw. 800 Kfz/h im Querschnitt möglich. Dies entspricht einer täglichen Verkehrsstärke von 8.000 Kfz, was bereits eine erhebliche Größenordnung darstellt.

Fazit

Bei der weiteren Entwicklung autonomer Fahrzeuge sollten diese die Fähigkeit vermittelt bekommen, abstimmungsintensive Straßen als solche zu (er-)

kennen und ihre Geschwindigkeit und die Pulkbildung entsprechend anzupassen.

Konkret können auf Basis der oben beschriebenen Erkenntnisse folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Autonome Fahrzeuge sollten in abstimmungsintensiven Straßen mit Geschwindigkeiten von 10 – 20 km/h fahren. Langsamere Geschwindigkeiten führen zu (unklaren) Abstimmungssituationen, welche im Geschwindigkeitsbereich von 10 km/h bis 20 km/h entfallen.
- Bei Verkehrsstärken unter 200 Kfz/h sollten diese mit 10 km/h fahren. Sie können in kleinen Pulks gebündelt werden, müssen es aber nicht.
- Ab 300 Kfz/h sollten Pulks von mindestens zwei Fahrzeugen gebildet werden. Die Geschwindigkeit kann 10 oder 20 km/h betragen.
- Ab ca. 700 Kfz/h sollten Pulks von mindestens 6 Fahrzeugen gebildet werden, die Geschwindigkeit sollte 20 km/h betragen.

Ein Geschwindigkeitsniveau von 10 - 20 km/h für autonome Fahrzeuge erscheint dabei noch aus weiteren Gründen als sinnvoll: Dieses Tempo gilt in der Stadt- und Verkehrsplanung bereits heute als ‚stadtverträglich‘ und ist bei Bewohner:innen sehr beliebt. Da das Geschwindigkeitsniveau bereits viele Situationen ‚klärt‘, kann auf die Anwendung weiterer Signale verzichtet werden – das Erlernen neuer, an autonome Fahrzeuge angepasste Verhaltensregeln entfällt.

Im Falle von zu hohen Verkehrsstärken sollte der Einsatz von verkehrslimitierenden Maßnahmen geprüft werden, wie sie im Teil „Steuerungsinstrumente“ (S. 16 ff) beschrieben sind.

Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht, Josua Sequenz, Jan Riel, Jan Wachsmann

Wartezeit Fußverkehr in Abhängigkeit von Kfz-Geschwindigkeit und Verkehrsstärke bei gleichverteilt und einzeln fahrenden Fahrzeugen

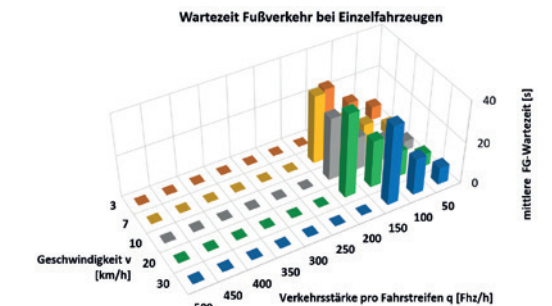


Abb. 49:
Quelle: Francis-Xavier, 2022

Wartezeit Fußverkehr in Abhängigkeit von Kfz-Geschwindigkeit und Verkehrsstärke bei 2er-Pulks

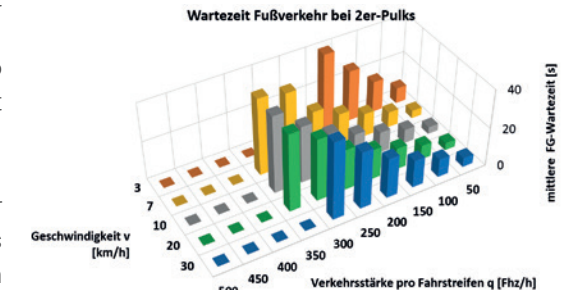


Abb. 50:
Quelle: Francis-Xavier, 2022

Wartezeit Fußverkehr in Abhängigkeit von Kfz-Geschwindigkeit und Verkehrsstärke bei 6er-Pulks

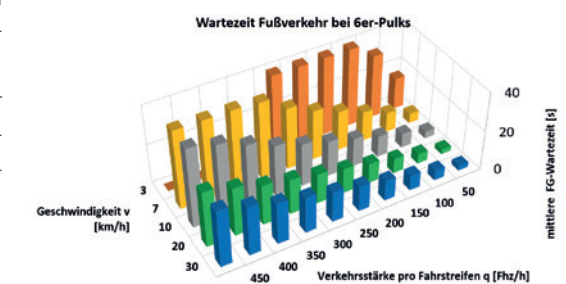


Abb. 51:
Quelle: Francis-Xavier, 2022





AUTONOMES FAHREN: WELCHE WEICHEN MÜSSEN WIR STELLEN?

KERNBOTSCHAFTEN & EMPFEHLUNGEN

Im Folgenden fassen wir die Kernbotschaften noch einmal knapp zusammen:

Nutzungs- und Besitzform autonomer Fahrzeuge

Autonomes Fahren macht mehr Personengruppen mobil, mehr und längere Wege werden im Auto zurückgelegt. Der limitierende Faktor ‚Parkraumknappheit‘ als Hemmnis für Autokauf und -nutzung entfällt weitgehend. Im Szenario ‚Trend‘ werden diese Entwicklungen nicht gehemmt, Fahrzeugflotte und Verkehrsleistung nehmen in der Folge deutlich zu.

Kernbotschaft 1:

Ohne regulierenden Eingriff wird der Kfz-Verkehr unter Beteiligung autonomer Fahrzeuge zunehmen und das Verkehrssystem überlasten. Der öffentliche Raum wird zusätzlich mit mehr ruhendem Verkehr belastet – eine Transformation des öffentlichen Raumes ist kaum möglich.

Nutzung des öffentlichen Raumes

Carsharing bietet – bei autonomen Fahrzeugen genauso wie bei manuell gesteuerten Fahrzeugen – die Chance, Parkierungsflächen deutlich zu reduzieren.

Kernbotschaft 2:

Wenn autonome Fahrzeuge lediglich als geteilte Fahrzeuge zugelassen werden, können die Fahrzeugflotte massiv reduziert und der öffentliche Raum umgestaltet werden: Weniger versiegelte Fläche, mehr Grün. Umbauten für Klimaresilienz und höhere Aufenthaltsqualität sind möglich, ebenso mehr Platz für Rad- und Fußverkehr.

Belastung des Straßennetzes durch Kfz-Verkehr

Das Verkehrsaufkommen kann steigen, auch wenn alle autonomen Fahrzeuge als Sharing- Fahrzeugen

ge zugelassen werden: Auch diese machen neue Nutzergruppen mobil und neue Aktivitäten während der Fahrt möglich. Autonomes Fahren bietet in Verbindung mit Carsharing und Ridepooling die Möglichkeit, die bisherigen Nachteile geteilter Fahrzeuge zu vermeiden. Der Gang zur Carsharing-Station entfällt, die Fahrzeuge holen die Kund:innen stattdessen ab.

Kernbotschaft 3:

„Sharing“ alleine ist keine Garantie dafür, dass weniger Auto gefahren wird. Ein attraktives Sharing-Angebot für zusätzliche Personengruppen kann ebenfalls zu einer Zunahme des Verkehres führen. Eine Abnahme des Kfz-Verkehrs ohne Einschränkung der Mobilität der Einzelnen kann nur durch Ridepooling-Angebote erreicht werden.

Individuelle Entscheidungen versus kollektive Wahrnehmung

Individuell befragt, entschieden sich in der Online-Umfrage die meisten Teilnehmenden für eine intensive Nutzung der neuen Mobilitätsoptionen. Die Summe dieser individuellen Mobilitätsentscheidungen führt im Ergebnis – abgebildet mit dem Verkehrsmodell – zu enormem Mehrverkehr.

Im Bürger:innendialog als Gruppe mit diesem Ergebnis konfrontiert, wurde übereinstimmend der Wunsch nach steuernden Maßnahmen geäußert, um eine derartige Fehlentwicklung zu vermeiden. Gleichzeitig wurde aber auch die Sorge geäußert, dass die Politik es doch wieder laufen lasse wie immer und dass der „schlimme Fall“ kommen würde – das Szenario ‚Trend‘.

Kernbotschaft 4:

Die individuellen Nutzungsabsichten der befragten Bürger:innen in Bezug auf das autonome Fahren unterscheiden sich deutlich von dem, was im Kollektiv und für das Kollektiv als erstrebenswert

erachtet wird.

Um auch auf individueller Ebene die Akzeptanz für steuernde Maßnahmen zu erreichen, ist es nötig, diese in einem transparenten und partizipativen Prozess einzuführen.

Klimaschutz

Klimaschutz bzw. CO₂-Emissionen hängen von den spezifischen Emissionen der Fahrzeuge (und damit von der Antriebstechnik) und den gefahrenen Kilometern ab. Außer dem Sharing-Szenario ‚Mobilitätswende für Klimaschutz‘ erreicht kein Szenario eine ausreichend große Reduzierung der Verkehrsleistung, um allein damit die Klimaziele zu erreichen. Prinzipiell könnten die Klimaziele jedoch auch im Szenario ‚Trend‘ und im Szenario ‚Sharing ohne Grenzen‘ erreicht werden, obwohl die Verkehrsleistung dort zunimmt – allerdings nur unter der Bedingung, dass die Verantwortung für Klimaschutz vom Mobilitätssektor in den Energiesektor (konsequente Erzeugung von Ökostrom) und den Antriebssektor (weitgehende Elektrifizierung der Kfz-Flotte) verschoben wird. Zudem werden allein durch die Antriebswende die anderen Verkehrsprobleme nicht gelöst.

Kernbotschaft 5:

Energie- und Antriebswende helfen bei konsequenter Umsetzung dem Klimaschutz. Sie lösen aber keine Verkehrsprobleme.

Interaktion autonomer Fahrzeuge und Fußgänger:innen

Die Attraktivität der (Innen-)Städte bzw. deren Aufenthaltsqualität hängt stark von der Menge und der Fahrweise des Kfz-Verkehrs ab. Die Bewegungsfreiheit des Fußverkehrs sollte daher durch das Fahrverhalten autonomer Fahrzeuge möglichst wenig eingeschränkt werden.

Kernbotschaft 6:

Autonome Fahrzeuge sollten in abstimmungsintensiven Straßen mit Geschwindigkeiten von 10 bis 20 km/h fahren. Diese Geschwindigkeiten gelten als ‚stadtverträglich‘, gleichzeitig werden unklare Abstimmungssituationen vermieden.

Dieses Geschwindigkeitsniveau klärt bereits viele Situationen, so kann auf die Anwendung weiterer Signale verzichtet werden – das Erlernen neuer, an autonome Fahrzeuge angepasster Verhaltensregeln entfällt.

Die Bildung von Fahrzeugpuls kann sich dabei positiv auf die Wartezeit der zu-Fuß-Gehenden auswirken.

Kernbotschaft 7:

Mit zunehmender Verkehrsstärke sollten sich die Fahrzeuge in Pulks organisieren, um die Barrierewirkung für den Fußverkehr möglichst gering zu halten.

Bei der weiteren Entwicklung autonomer Fahrzeuge sollten diese die Fähigkeit vermittelt bekommen, abstimmungsintensive Straßen als solche zu (er-)kennen und ihre Geschwindigkeit und die Pulkbildung entsprechend anzupassen.

Steuerungsinstrumente

Im Rahmen des Projektes wurde ein Steuerungsinstrument entwickelt, welches den Schutz sensibler Streckenabschnitte vor verkehrlicher Überlastung gewährleisten soll: Autofahrten müssten grundsätzlich vor der Fahrt „gebucht“ werden und würden nur genehmigt, wenn im Verlauf der Strecke keine verkehrlichen Überlastungen eintreten würden. Die grundsätzliche Machbarkeit wurde mit Entwicklung und Test der Software nachgewiesen. Obwohl das „Buchen“ einer Fahrt sich kaum vom

Kauf einer Bahn-Fahrkarte mit Sitzplatzreservierung unterscheidet, ist von einer geringen gesellschaftlichen Akzeptanz eines solchen Systems auszugehen. Die technischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Hürden sind hoch.

Kernbotschaft 8:

Technische Instrumente zur (Nicht-)Genehmigung individueller Autofahrten sind möglich, aber mit hohen Hürden verbunden. Sie sollten als ultima Ratio in Betracht gezogen werden, wenn Klima- und Gesundheitsschutz auf anderem Wege nicht erreicht werden können.

Empfehlungen

Aus den o.g. Kernbotschaften leiten wir schließlich folgende knapp formulierte Empfehlungen für die Entscheider:innen auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene ab:

Auf Bundesebene:

Es ist der Rahmen dafür zu schaffen, dass autonome Fahrzeuge nur als geteilte Fahrzeuge, aber nicht als Privatfahrzeuge zugelassen werden, also im Sinne des klassischen Carsharings oder als Ridepooling-Angebot.

Diese Regelung muss bereits deutlich vor der Verfügbarkeit solcher Fahrzeuge eingeführt werden. Nur dann hat die Industrie verlässliche, planbare Rahmenbedingungen, anhand derer sie ihre Produkte marktgerecht entwickeln kann. Eine solche Regelung ist etwa für Volocopter selbstverständlich im Gespräch.

Diese Regelung erscheint vielleicht auf den ersten Blick als radikal und unrealistisch. Andererseits beobachten wir, dass sich die Wahrnehmung von Problemen und Lösungen derzeit kurzfristig ändert. Wer hätte 2019 abgesehen, dass zahlreiche kleine und große Städte sich hinter der Forderung versammeln würden, Tempo 30 stadtweit ausweisen zu dürfen, wie es kürzlich geschehen ist? Ein Paradigmenwechsel hinsichtlich des Klimawandels ist politisch absehbar. Er erfordert Lösungen, die bisherige Gewissheiten in Frage stellen. Dazu sollen die folgenden Empfehlungen einen Impuls geben.

Auf Landesebene:

Die Landesbauordnungen sollen ein reduziertes Angebot von Stellplätzen im Wohnungs- und Gewerbebau ermöglichen. Spielräume sollten dabei vor allem den kommunalen Entscheider:innen zugestanden werden, wenn sie das Parkraumange-

bot entsprechend der lokalen Mobilitätskonzepte anpassen wollen.

Eine derartige Anpassung der Landesbauordnungen sollte schon kurzfristig geschehen, da ein knapp bemessenes Parkraumangebot bei gleichzeitig guter Verfügbarkeit von Carsharing-Fahrzeugen ein verändertes Mobilitätsverhalten stark stimuliert. Vor dem Hintergrund der dramatisch geschrumpften Zeiträume zur Erreichung der Klimaziele muss eine solche Entwicklung bereits weit vor der Verfügbarkeit autonomer Fahrzeuge angestoßen werden. Hinzu kommt, dass so der Bau weiterer Parkbauten vermieden wird, die die Kosten treiben und oft nicht umzunutzen sind.

Auf kommunaler Ebene:

Die Kommunen haben enormen Einfluss auf die Gestaltung des Mobilitätsverhaltens vor Ort. Ein Schlüssel hierfür liegt in der Dimensionierung und Gestaltung des Parkraumangebots, welches teilweise an Recht auf Landesebene gebunden ist (s.o.).

Die Transformation des öffentlichen Raums im Sinne einer Reduzierung der öffentlichen Parkstände sollte auf kommunaler Ebene vor Ort angestoßen werden und bei gleichzeitig konsequenter Ausweitung des Carsharing-Angebotes, des ÖPNV und der Rad-Mobilität bereits heute eine bewusster und reduziertere Autonutzung in Gang setzen.

Ridepooling-Angebote können aufgrund der möglichen höheren Besetzungsgrade zu einer Reduzierung der Verkehrsleistung ohne Einschränkungen der Mobilität führen. Ein optimales Management der Fahrten funktioniert jedoch nur, wenn alle Fahrtwünsche der Nutzer:innen bei einer zentralen Schnittstelle zusammenlaufen - und nicht parallel

durch mehrere konkurrierende Systeme bedient werden.

Zulassungen von Ridepooling-Anbietern sollten also nur erfolgen, wenn ein zentrales und mit dem Betreiber des ÖPNV abgestimmtes Datenmanagement sichergestellt ist.

Für alle Ebenen gilt, dass nur mit einer Akzeptanz zu rechnen ist, wenn Maßnahmen über partizipative Formate für Bürger:innen nachvollziehbar gemacht und offensiv kommuniziert werden. Nur so kann gesichert werden, dass im Kollektiv und für das Gemeinwohl als wünschenswert erachtete Vorstellungen von einer lebenswerten Stadt auch individuell als solche erkannt und unterstützt werden.

Jan Riel, Kerstin Gothe, Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht, Tim Reuber, Lisa Matzdorff

KURZVORSTELLUNG AUTOR:INNEN DER STUDIE

Jan Riel

arbeitete als Verkehrsplaner im Planungsbüro R+T in Darmstadt sowie im Stadtplanungsamt Karlsruhe. Seit 2014 ist er Professor für Verkehrsplanung an der Hochschule Karlsruhe.

Tim Reuber

ist Verkehrsplaner mit Schwerpunkt auf Gestaltung und Integration autonomen Fahrens in bestehende Verkehrssysteme. Er beschäftigt sich u. a. mit der Transformation zu einer bedarfsgerechten und stadtverträglichen Mobilität und Logistikkonzepten im Wirtschaftsverkehr.

Jan Wachsmann

Langjähriger Mitarbeiter am Institut für Verkehr und Infrastruktur mit breitgefächertem Themengebiet. Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in der Straßenverkehrstechnik und dem Straßenbetriebsdienst.

Alexa Maria Kunz

leitet das Methodenlabor am KIT/House of Competence (www.hoc.kit.edu). Sie arbeitet v.a. in den Bereichen Methoden und Methodologie qualitativer Forschung, u.a. in interdisziplinären Kontexten, partizipative Verfahren und lebensweltorientierte Soziologie.

Felix Albrecht

Schwerpunkte seiner Arbeit als Soziologe sind Beteiligungsformate in unterschiedlichen Kontexten sowie die Untersuchung von Formen der Interaktion und Herstellung sozialer Ordnung im Alltag.

Josua Sequenz

Seine bisherigen Arbeiten betrachteten die veränderten Interaktionsformen durch die ‚soziale Distanzierung‘ in Folge der Covid-19 Pandemie und Anwendungsmöglichkeiten videografischer Verfahren.

Kerstin Gothe

arbeitete viele Jahre als Stadtforscherin und Stadtplanerin in Kommunen. Von 2004 bis 2019 war sie Professorin am Institut Entwerfen von Stadt und Landschaft am KIT.

Lisa Matzdorff

ist Architektin und bearbeitete das Projekt AutoRICH als wissenschaftliche Mitarbeiterin am KIT vor einem breit gefächerten Hintergrund in Architektur und Stadtplanung.

Reiner Jäger

ist Leiter des Labors für GNSS & Navigation (<http://goca.info/Labor.GNSS.und.Navigation/>). Er hat die Professur für Satellitengeodäsie, Mathematische Geodäsie, Ausgleichungsrechnung, Softwareentwicklung und Vermessungskunde an der Hochschule Karlsruhe.

Naznin Akter

M.Sc. Geomatics und B.Sc. Computer Science. Sie ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in AutoRICH und im Bereich Geomonitoring. Darüber hinaus ist sie Lehrbeauftragte für Software Engineering sowie Navigation Technologies & Mobile GIS an der Hochschule Karlsruhe.

Koehler & Leutwein GmbH & Co KG

erstellt seit 1969 Analysen und Prognosen zum Individualverkehr im Rahmen von Mobilitätskonzepten, Lärmaktionsplänen und Erschließungsplanungen. Zum Team gehören Jonas Fehrenbach, Peter Koehler, Martin Pielawa und Stefan Wammetsberger.

Grafische Gestaltung der Broschüre: LUV Design, Susanne Freibichler
Grafische Bearbeitung der Skizzen und Zeichnungen: Lisa Matzdorff und Sanda Sandic
Titelbild: Innenstadt Karlsruhe_ Roland Fränkle_PIA(Presseinformationsamt Karlsruhe)

Abkürzungen

- Kfz = Kraftfahrzeug
- EW = Einwohner:inn(en)
- MIV = motorisierter Individualverkehr
- ÖV / ÖPNV = Öffentlicher (Personen-Nah-)Verkehr
- SV / SPNV = Schienen-(Personen-Nah-)Verkehr
- STVO = Straßenverkehrsordnung

Erläuterungen verwendeter Begriffe

- Im Folgenden werden häufig verwendete Begriffe aufgeführt mit einem Hinweis, wo sie im Text erläutert werden:
- SAE-Level 5 / autonomes Fahren: Seite 8
- Carsharing: Seite 21
- Ridepooling: Seite 21
- Verkehrsleistung: Seite 32
- Verkehrsaufkommen: Seite 32
- Quell-Ziel-Matrix: 32
- Belastungsplot: Seite 32

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Sämtliche Abbildungen sind – wenn nicht ausdrücklich in den Randnotizen vermerkt – im Rahmen von AutoRICH entstanden.
- Tab. 1: Übersicht über die Automatisierungsfunktionen nach BAST
 - Tab. 2: Präferenz der Nutzungsform bei Befragten, die autonomes Fahren nutzen wollen
 - Tab. 3: Bereitschaft zur Nutzung autonomer Fahrzeuge nach Größe des Wohnortes
 - Tab. 4: Bereitschaft zur Nutzung autonomer Fahrzeuge und Zentralität im Wohnort
 - Tab. 5: Bereitschaft zum autonomen Fahren nach Führerscheinbesitz
 - Tab. 6: Nutzung autonomer Fahrzeuge nach Qualität der ÖPNV-Anbindung und Wohnortgröße
 - Tab. 7: Details der Szenarien im Vergleich
 - Tab. 8: Verkehrliche Kennwerte 2020 und Prognose-Nullfall 2040 im Vergleich
 - Tab. 9: Verändertes Mobilitätsverhalten durch neue Mobilitätsoptionen
 - Tab. 10: Übersicht der Unterszenarien
 - Tab. 11: Ziele und Kennwerte der Szenarien
 - Tab. 12: Nachhaltigkeitsbewertung der Szenarien

LITERATUR

Literaturverzeichnis

Für das Gesamtprojekt wurde eine Fülle von Literatur ausgewertet, die wir hier nicht komplett aufführen. Genannt werden lediglich die Publikationen, die im vorliegenden Text zitiert werden.

Teil 1

Bazilinskyy, P., Kyriakidis, M., Dodou, D., & de Winter, J. (2019). When will most cars be able to drive fully automatically? Projections of 18,970 survey respondents. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 64, 184-195. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.05.008>

bcs (2019) Bundesverband CarSharing (2019). CarSharing-Statistik. Aktuelle Zahlen und Fakten zum CarSharing in Deutschland. <https://carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen/aktuelle-zahlen-daten-zum-carsharing-deutschland>

Klein, T. A., & Altenburg, S. (2019). Autonomes Fahren—Steuern oder überrollt werden? Straßenverkehrstechnik, 03/2019, 166–174.

MiD (2018) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2018). Mobilität in Deutschland. Ergebnisbericht. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf

Mitteregger, M., Bruck, E. M., Soteropoulos, A., Stickler, A., Berger, M., Dangschat, J. S., Scheuven, R., & Banerjee, I. (2020). AVE-NUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61283-5>

National Association of City Transportation Officials (NACTO) (Hrsg.). (2019). Blueprint for Autonomous Urbanism: Second Edition (2. Auflage). <https://nacto.org/publication/bau2/>

Teil 2

Akter, N., Jäger, R., Riel, J. (2022): Handbuch zur AUTORICH Streckenplanungssoftware zur Kontingent-gesteuerten Echtzeit-Einbindung (Dynamisches Routing) autonomer Fahrzeuge in den fließenden Verkehr. <http://www.navka.de/index.php/de/publikationen-und-downloads>

Baden-Württemberg Stiftung (Hrsg.). (2017). Mobiles Baden-Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität. Stuttgart. ISBN 2366-1437

Bundesverband Carsharing (bcs) (2020). Fact sheet: Verkehrsentlastung durch CarSharing. Berlin.

Friedrich M., Hartl M. (2016). MEGAFON - Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs. Stuttgart.

Hradil, Stefan 31.5.2012: Was sind und wozu dienen Szenarien?, <https://www.bpb.de/politik/grundfragen/deutsche-verhaeltnisse-eine-sozialkunde/139122/szenarien>, Abruf vom 15.01.2022

ITP Intraplan Consult GmbH. (2016). Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im schienengebundenen

öffentlichen Personennahverkehr. S. 144. München. Begleitforschung im Auftrag der MOIA GmbH, Berlin. https://www.moia.io/news-center/downloads/211207_MOIA_Ergebnisbericht_Begleitforschung.pdf

Klementsitz, R., Angerer, M., Bauernfeind, A., Haider, T., Haydn, P (2019). Potenziale für den Einsatz gemeinschaftlich genutzter autonomer Fahrzeuge im ländlichen Raum. RealCORP 2019, Karlsruhe.

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2017). Verkehrsinfrastruktur 2030 – Ein Klimaschutzenszenario für Baden-Württemberg. https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Brosch%C3%BCren_Publikationen/Klimaschutzszenario_10-2017_web.pdf

Omniphon. (2012). Mobilitätsverhalten 2012. Nachbarschaftsverband Karlsruhe (Bericht vom 09.10.2012). https://www.nachbarschaftsverband-karlsruhe.de/b4/mobilitaet/HF_sections/content/ZZkKvY9gwHnv73/ZZkWZyECXNEHJB/Ergebnisbericht_NVK_Endversion.pdf

Stadt Karlsruhe, Amt für Stadtentwicklung (2016). Kleinräumige Bevölkerungsprognose 2035 (Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 50).

Taubitz, F. (2021). Belastungsabhängiges Verkehrsmanagement: Schaffung einer Datengrundlage sowie Testung und Evaluation einer Steuerungssoftware für das Testfeld „Autonomes Fahren Baden-Württemberg“ [Bachelorthesis]. Hochschule Karlsruhe.

Thiesen, Peter (Hrsg.) (1999). Methodenbuch für Schule und Hochschule, Weinheim und Basel. ISBN 3-407-62385-2

Umweltbundesamt (UBA, 2020 a). Bodenversiegelung. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#was-ist-bodenversiegelung> (Abruf vom 20.04.2021)

Teil 3

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2015). Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Teil S – Stadtstraßen.

Fraedrich, E., Lenz, B. (2015). Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens. Pp. 639–60, in: Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte, edited by B. Lenz, H. Winner, J. C. Gerdes, and M. Maurer. Heidelberg: Springer Viewig.

Francis-Xavier, A. (2022). Stadtverträgliche Integration des autonomen Fahrens mit Fokus auf den Fußverkehr: Modellhafter Ansatz zur Beschreibung der Aufenthaltsqualität [Masterthesis]. Hochschule Karlsruhe.

RASt (2006). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen.

VCD Verkehrsclub Deutschland e.V. (2009). VCD Position: Shared Space. https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Publikationsdatenbank/Verkehrsplanung/VCD_Position_Shared_Space_2009.pdf



KLAUPRECHTSTRASSE HEUTE UND VISION 2040





Welche Auswirkungen könnten autonom fahrende Fahrzeuge für die Städte und ihre Bewohner:innen haben? Was bedeutet es für die öffentlichen Räume und für das Verkehrsgeschehen? Was erwarten die Menschen? Und was ist heute zu tun, damit autonomes Fahren morgen zu einer lebenswerten Stadt beiträgt?

Ein gemeinsames Forschungsprojekt von Verkehrsplaner:innen und -forscher:innen, Stadtplaner:innen und Soziolog:innen, sowie Informatiker:innen aus Geodäsie und Fahrzeugtechnik hat sich damit konkret am Beispiel der Stadt Karlsruhe beschäftigt. Mittels Szenarien, Fahrtexperimenten, partizipativen Formaten und der Entwicklung von Instrumenten zur Verkehrssteuerung wurde das Thema aus unterschiedlichen Perspektiven umfassend untersucht.

Die Studie, deren Ergebnisse hier zusammengefasst vorgestellt werden, enthält auch Vorschläge, wie die Politik bereits heute die Entwicklung beeinflussen kann.