

## Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit einer Robotaxi Flotte – Eine makroskopische Verkehrssimulation in der Stadt Zürich

Maximilian Richter, Johannes Hess

Universität St. Gallen, Institut für Mobilität, Bahnhofstraße 8, 9000 St. Gallen, Schweiz

### Abstract

Um die Vorteile von Robotaxis im urbanen Raum zu realisieren, muss die Profitabilität des Service gewährleistet sein. Dieser Artikel untersucht das Preisniveau mit Hilfe einer makroskopischen Verkehrssimulation in Zürich. Um die finanzielle Rentabilität zu ermitteln, werden die Simulationsergebnisse mit einer umfangreichen Kostenanalyse kombiniert. Die Ergebnisse zeigen, dass Fahrten für 0,32 bis 0,42 CHF pro Kilometer angeboten werden können und sich Robotaxis bei entsprechender Auslastung voraussichtlich unter dem Preisniveau vieler herkömmlicher Mobilitätslösungen etablieren.

Schlagwörter/Keywords:

Autonomes Fahren, Flottenanbieter, Robotaxi, makroskopische Verkehrssimulation

### 1. Einleitung

Aus Sicht von Mobilitätsnutzern ist der Besitz von Autos ein überholtes, wenn auch weit verbreitetes Konzept. Faktoren, wie hohe Anschaffungskosten (AAA, 2019; Becker et al., 2019) und eine geringe Auslastung (Bates & Leibling, 2012) machen den Besitz eines Fahrzeugs unattraktiv. Neben großen Fortschritten in Automatisierungstechnologien ist kürzlich die Sharing Economy in den Transportsektor vorgedrungen. Die Einführung von Robotaxis, elektrischen, autonomen Fahrzeugen, welche im Rahmen von on-demand Lösungen buchbar sind, wird unsere Städte und deren urbane Mobilität erheblich verändern. Netzwerke von Robotaxis werden von Mobilitätsdienstleistern in einem geografisch eingegrenzten Gebiet eingesetzt, um auf Anfrage Nutzer abzuholen und zu ihrem Wunschort zu befördern (Dia & Javanshour, 2017; Pavone, 2015). Während Robotaxis dabei dem gleichen Prinzip wie herkömmliche Ride-Hailing- oder Taxidiensten folgen, wird kein Fahrer benötigt, was zu höherer Effizienz bei einem Bruchteil der Kosten führt. Somit kann der Komfort einer Taxifahrt zum Preis von öffentlichen Verkehrsmitteln angeboten werden (Boesch et al., 2018).

Neueste Forschungen zeigen, dass Robotaxis großes Potential für urbane Gebiete versprechen (Milakis et al., 2017). Auf der anderen Seite könnten Mobilitätsdienstleister, wie

Uber oder Lyft, die wahrscheinlich als Anbieter solcher Lösungen aktiv werden, vor neuen Herausforderungen stehen: Der Besitz und Betrieb von Robotaxis birgt ein finanzielles Risiko, da neben Betriebskosten auch hohe Investitionen in die Fahrzeugflotte und Infrastruktur notwendig sind (Chen et al., 2016; Fagnant & Kockelman, 2015). Es stellt sich daher die Frage, ob der Betrieb von Robotaxis aus Sicht eines Mobilitätsdienstleisters finanziell lohnenswert und wettbewerbsfähig ist (Gurumurthy et al., 2019; Loeb & Kockelman, 2019). Die Profitabilität von Robotaxis spielt somit als Adaptionskriterium für eine flächendeckende Ausbreitung des Service eine entscheidende Rolle (Spieser et al., 2014).

Einige Forscher haben sich bereits mit den Kosten von Robotaxis und deren Einsatz im urbanen Raum befasst (Chen et al., 2016; Spieser et al., 2014). Die Relevanz der Implikationen aus entsprechenden Studien ist jedoch oftmals begrenzt, da das methodische Vorgehen mehreren Einschränkungen unterliegt: Zum einen wird die finanzielle Komponente von Robotaxis nicht ganzheitlich aus Sicht eines Flottenbetreibers betrachtet und vereinfachte Kostenstrukturen werden auf einzelne Fahrzeuge angewendet (Burns et al., 2012; Spieser et al., 2014). Fagnant und Kockelman (2018) gehören zu den ersten, die die Kapitalrendite mit den Kosten eines

Robotaxis gegenüberstellen. Farhan und Chen (2018), Chen et al. (2016) und Loeb und Kockelman (2019) konzentrieren sich zudem auf die Perspektive des Flottenbetreibers, um die Leistung und Kosten verschiedener Fahrzeugtypen zu bewerten. Im Rahmen dieser Studien wird das Preisniveau jedoch stark vereinfacht und Gewinnmöglichkeiten werden vernachlässigt. Boesch et al. (2018) adressieren Inkonsistenzen und fehlende Kostenfaktoren in früheren Studien, betrachten Robotaxis jedoch nur als eine unter vielen Mobilitätslösungen. Zum anderen basieren viele der Verkehrssimulationen auf dem gleichen Modell und Datensatz. Dieses Vorgehen verzerrt und limitiert die Ergebnisse auf Gebiete, wie die Region Austin in Texas, USA (siehe Fagnant & Kockelman, 2014; Farhan & Chen, 2018; Zhao & Kockelman, 2018; Loeb & Kockelman, 2019). Da sich internationale Städte beziehungsweise auf Merkmale, wie die Gestaltung der Infrastruktur oder der Mobilitätsbedürfnisse deutlich unterscheiden, ist ein Transfer der Implikationen nur bedingt möglich. Drittens werden simulierte Flottengrößen häufig in Abhängigkeit von der Nachfrage abgeleitet. Dieses Vorgehen lässt zwar Rückschlüsse zu, wie viele Robotaxis in bestimmten Regionen eingesetzt werden sollten, die Anzahl der simulierten Fahrzeuge ist jedoch in Konsequenz sehr hoch (Boesch et al., 2016; Chen et al., 2016; Spieser et al., 2014). In Anbetracht aktueller Prognosen zu Adoptionsraten von Robotaxis werden solche Flottengrößen erst in mehreren Jahrzehnten auftreten. Dieser Faktor schränkt die Aussagekraft und praktische Relevanz der Studien stark ein. Viertens können viele der Werte und Berechnungen der Studien angesichts der rasanten Entwicklung der Branche als veraltet angesehen werden. Dies betrifft beispielsweise die Batteriekosten, welche sich von Jahr zu Jahr drastisch reduzieren (Lutsey & Nicholas, 2019).

Es fehlt eine Studie, die die Kosten, Preise und potenziellen Gewinne einer Robotaxi-Flotte in einer umfangreichen und zugleich aktuellen Analyse berücksichtigt. In dieser Studie wird eine makroskopische Verkehrssimulation in der Stadt Zürich durchgeführt, welche aufgrund ihrer Größe und Lage den Transfer der Implikationen auf andere europäische Städte ermöglicht. Die Angebotsseite des Modells beinhaltet neben herkömmlichen Mobilitätslösungen, wie Busse oder Privatautos, zudem 500 Robotaxis. Diese Anzahl spiegelt laut jüngster Prognosen ein realistisches Szenario innerhalb der nächsten 5 bis 10 Jahre wider. Für die vorliegende Simulation werden dynamische Ride-Sharing-Mechanismen verwendet, wonach nicht nur die Fahrzeuge, sondern auch die Fahrten zwischen den Nutzern geteilt werden. Der Algorithmus identifiziert hierbei sich teilweise überlappende Fahrtwünsche und legt diese unter Berücksichtigung vordefinierter Kriterien, wie etwa einen maximalen Umwegfaktor, zusammen. Die Herleitung der Kostenstruktur eines

Robotaxis adaptiert Ansätze früherer Studien, ergänzt diese jedoch und verwendet aktualisierte Werte. Dieser ganzheitliche Ansatz ermöglicht im Rahmen dieser Studie möglichst realistische und zudem relevante Forschungsergebnisse.

### **Folgenden Forschungsfragen werden beantwortet:**

Übergreifende Forschungsfrage: *Lohnt es sich aus Sicht eines Mobilitätsdienstleisters finanziell, eine Robotaxi-Flotte zu betreiben und auf welchem Preisniveau kann der Service angeboten werden?*

*Wie verhält sich der Preis eines solchen Dienstes im Vergleich zu herkömmlichen und vergleichbaren Verkehrsmitteln?*

## **2. Methodik**

Die Methodik dieser Studie umfasst zwei Ansätze: 1) Eine makroskopische Verkehrssimulation, welche Erkenntnisse über die Nutzung und Auslastung der Robotaxis ermöglicht und 2) eine umfassende Kostenableitung für den Betrieb eines Fahrzeugs innerhalb einer Robotaxi-Flotte. Dabei wird von einem B2C-Dienstleistungsmodell ausgegangen, bei dem der Betreiber auch der Eigentümer der Flotte ist (Stocker & Shaheen, 2017).

### **2.1 Simulationsgestützte Ermittlung der Betriebsparameter**

Der Verkehrssimulator PTV MaaS-Modeller wird zur Simulation der On-Demand-Ride-Pooling-Flotte eingesetzt. Das Tool ermöglicht die Ableitung wesentlicher KPIs, die Betreibern und Städten helfen, effektive Geschäftsmodelle für die Planung und Steuerung der MaaS-Implementierung zu skizzieren (PTV Group, 2017). Das Modell basiert auf PTV Visum, einer makroskopischen Simulations-Software für die Modellierung von Mobilitätsszenarien (Noekel & Schaefer, 2018). Die PTV Group integriert Algorithmen aus der Logistikbranche durch den PTV X-Server, eine Logistik- und Geodaten-Software zur Optimierung logistischer Prozesse (Noekel & Schaefer, 2018; Barceló et al., 2018). Bei dem vorliegenden Netzwerk handelt es sich um eine angepasste Version des Verkehrsmodells des Kantons Zürich (Kanton Zürich Volkswirtschaftsdirektion Amt für Verkehr, 2011). Während Robotaxis auf der Angebotsseite die traditionellen Verkehrsmittel ergänzen, berücksichtigt der Algorithmus zur Simulation der Nachfrage verschiedene Faktoren, wie Wartezeit und Kosten. In einem iterativen Prozess wird die Nachfrage mit Verkehrsrouten und dem Mobilitätsangebot abgeglichen, um ein Gleichgewicht über den Verlauf des simulierten Zeitraums zu ermitteln (siehe Abbildung 1).

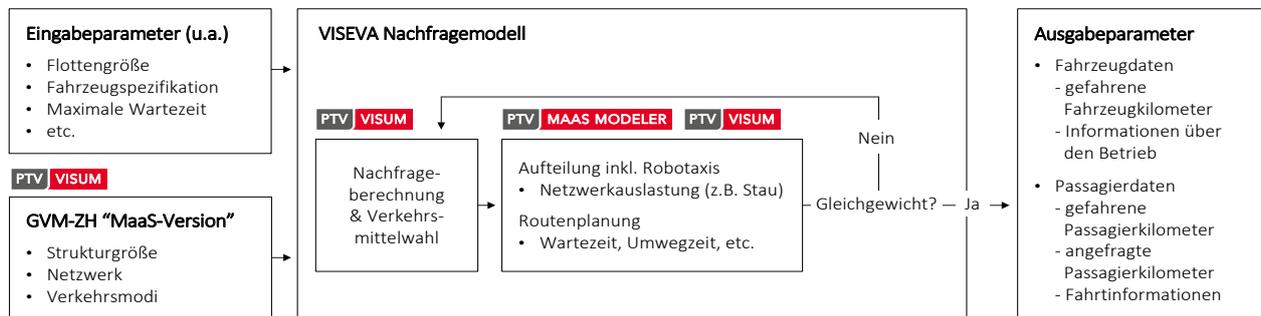


Abbildung 1 PTV MaaS Modeller Arbeitsfluss, welcher die Ausgabeparamter ermöglicht

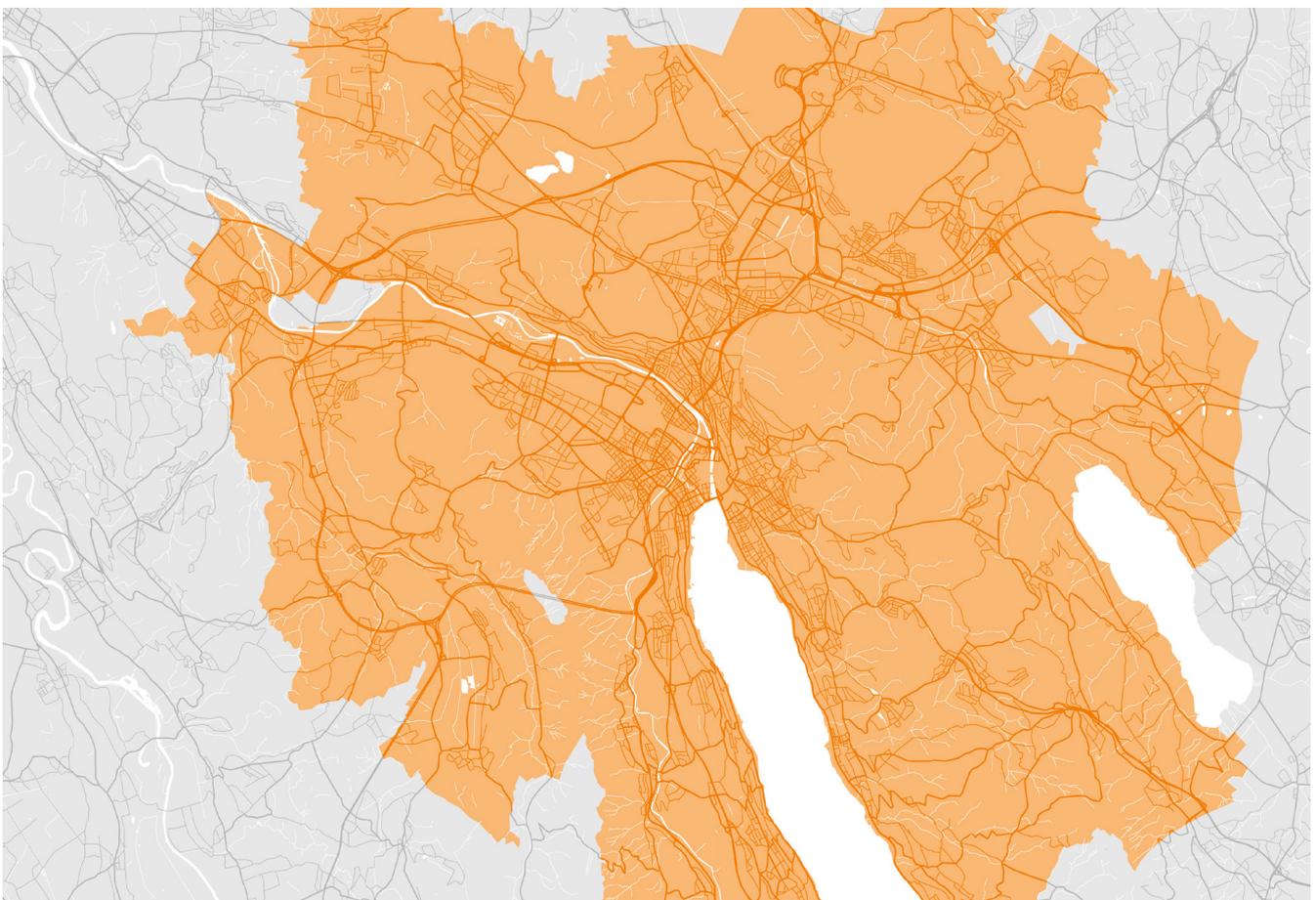


Abbildung 2 Geographisch eingeschränktes Gebiet von Zürich, das den Umfang des Robotaxi-Dienstes bestimmt

### 2.2 Ableitung der Kosten zur Bereitstellung des Robotaxi-Service

Das Verfahren zur Ermittlung der Kosten und Gewinne einer Robotaxi-Flotte basiert weitestgehend auf der Studie von Boesch et al. (2018) und stellt einen Bottom-up-Ansatz dar,

welcher Daten aus Praxis und Literatur kombiniert. Die Kostenableitung wird um drei Kostenszenarien (geringe-, mittlere- und hohe Kosten) erweitert, welche auch von Chen et

al. (2016) und Loeb und Kockelman (2019) verwendet werden, um den Grad der Unsicherheit bei der Kostenprognose zu berücksichtigen. Die Robotaxi-Kosten unterteilen sich in drei Kategorien: Die Flottenkosten umfassen die physische Bereitstellung der Fahrzeuge, Betriebskosten entstehen durch die tägliche Nutzung und indirekte Kosten umfassen die Verwaltung des Betriebs im Hintergrund. Die betrachteten Kosten beziehen sich auf die Stadt Zürich und sind in Schweizer Franken (CHF) angegeben. Da es sich bei den Preisen teilweise um Bruttopreise handelt, wird die Schweizer Mehrwertsteuer i.H.v. 7,7 % (ESTV, 2020), sofern zutreffend, abgezogen, um realistische Ergebnisse zu ermöglichen (Boesch et al., 2018).

**Flottenkosten:** Der Kaufpreis eines Robotaxis basiert auf dem Kaufpreis eines Volkswagen e-Golf mit Basiskonfiguration. Zudem werden Kosten zur Automatisierung des Fahrzeuges berücksichtigt. In dieser Studie wird ein Fahrzeugkaufpreis von 40.000 CHF angenommen (Volkswagen, 2020) und die Kosten für die autonome Technologie auf 10.000 CHF festgelegt (Fagnant & Kockelman, 2015). Autonome Fahrzeuge werden voraussichtlich drei Jahre auf dem Markt sein und Lern- und Skalierungsraten werden berücksichtigt (0 %, 5 % und 10 % p.a.) (Wadud, 2017). Nach dem Ansatz von Boesch et al. (2018) wird ein Flottenrabatt (10 %, 20 % und 30 %) gewährt. Es wird angenommen, dass der Kaufpreis linear über die kilometerbasierte Lebenserwartung des Fahrzeugs von 300.000 km abgeschrieben wird (Deloitte, 2019). Die Zinsen zur Finanzierung der Flotte werden auf 3 %, 3,5 % und 4 % festgesetzt und jährlich diskontiert. Die Zinsraten werden auf der Grundlage einer mehrstufigen Annäherung ermittelt und berücksichtigen Kapitalmarktraten, Unternehmensanleihen von Flottenbetreibern und private Annuitätsdarlehen. Potenzielle Kapitalkosten oder cashflow-relevante Geldbewegungen werden nicht berücksichtigt. In Anbetracht üblicher Batteriegarantien von 160.000 km (ADAC, 2014) muss die Batterie einmal während der Fahrzeug-Lebensdauer ausgetauscht werden. Die Batteriekapazität des e-Golf von 35,8 kWh (ADAC, 2020) wird mit den unteren und oberen Grenzen und dem Mittelwert der Kostenprognosen für 2025 im Bericht von Lutsey und Nicholas (2019) kombiniert. Unter Berücksichtigung der Schweizer Mehrwertsteuer und einer Gewinnspanne von 5 % summieren sich die Kosten für die Ersatzbatterie auf 93, 24, 129 und 145,89 CHF pro kWh. Die Zulassungskosten des Fahrzeuges betragen 100 CHF (STVA, 2020). Die Versicherungskosten richten sich nach dem durchschnittlichen Kostensatz eines E-Golf i.H.v. 800 CHF (Comparis, 2018). Um Versicherungsrabatte aufgrund der Automatisierung zu berücksichtigen (MacKenzie et al., 2014; Wadud, 2017), werden für zwei der Szenarien Rabatte von 25 % und 50 % gewährt.

**Betriebskosten:** Die Wartungskosten betragen 300, 400,

500 CHF (Repcheck, 2020) und decken Kosten für den Batteriewechsel und mögliche Reparaturen ab. Die Analyse folgt der Empfehlung von Volkswagen (ADAC, 2014), wonach ein Fahrzeug alle 30.000 km gewartet werden soll. Die Reifenkosten für vier Ganzjahresreifen basieren auf den Preisen von Pneuexperte (2020) (220 CHF) und einer Lebensdauer von 50.000 km (Lange, 2020). Mengenrabatte i.H.v. 10 % und 20 % werden für das mittlere und geringe Kostenszenario angenommen. Der zum Antrieb des Fahrzeugs benötigte Strom basiert auf dem Kraftstoffverbrauch des e-Golf mit 12,9 kWh pro 100 km (Volkswagen, 2020). Basierend auf den variablen Ladekosten von Swisscharge (2021) werden Strompreise i.H.v. 0,35, 0,40 und 0,45 CHF für die drei Szenarien festgelegt, welche zudem die Parkkosten während des Ladevorgangs decken. Zusätzliche Parkkosten werden in der Analyse nicht berücksichtigt, um weit hergeholte Prognosen zu vermeiden. Da die Reinigungsintervalle sehr subjektiv sind (Loeb & Kockelman, 2019), wird unter Einbezug von Experten eine Gesamtreinigungszeit von 20 Minuten pro Robotaxi und Tag während des Ladevorgangs angenommen. Der Stundenlohn des Reinigers wird auf 35 CHF (Quitt, 2020) festgesetzt, um die Kosten für den Einsatz von Reinigungsutensilien einzuschließen. Da sich der Simulationsrahmen auf den städtischen Raum beschränkt, werden Mautgebühren vernachlässigt.

**Indirekte Kosten:** Die indirekten Kosten umfassen Gemein- und indirekte Betriebskosten und werden aus der Berechnung von Boesch et al. (2019) mit 14 bzw. 10 CHF pro Robotaxi und Tag übernommen. Es wird davon ausgegangen, dass keine weiteren Investitionen in die Infrastruktur (z.B. die Einrichtung privater Lade- oder Parkstationen) erforderlich sind. Dieser Ansatz wird durch die Tatsache gestützt, dass der Stadtrat von Zürich den Aufbau der Ladeinfrastruktur aktiv unterstützt (Stadt Zürich, 2019). Eine Übersicht der berücksichtigten Kosten wird in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1**

Übersicht der Kosten zur Bereitstellung eines Robotaxi Services nach Kategorie

Kostenkategorie	Spezifikation	geringe Kosten	mittlere Kosten	hohe Kosten
Fahrzeug Lebenserwartung <sup>1</sup>	in km	300.000	300.000	300.000
<b>Flottenkosten</b>				
Fahrzeugpreis * <sup>2</sup>	in CHF	40.000	40.000	40.000
Autonome Technologie * <sup>3</sup>	in CHF	10.000	10.000	10.000
Skalierung und Lernrate <sup>4</sup>	in % pro Jahr	10	5	0
Abschreibungszeitraum	in Jahren	3	3	3
Flottenrabatt für Fahrzeuge <sup>5</sup>	in %	30	20	10
Zinssatz * <sup>6</sup>	in % pro Jahr	3	3,5	4
Batteriekapazität <sup>7</sup>	in kWh	35,8	35,8	35,8
Austausch der Batterie * <sup>8</sup>	in CHF pro kWh	93,24	129	145,89
Fahrzeuganmeldung * <sup>9</sup>	in CHF	100	100	100
Versicherung * <sup>10</sup>	in CHF pro Jahr	800	800	800
Versicherungsrabatt <sup>11</sup>	in %	50	25	0
<b>Betriebskosten</b>				
Wartung & Service * <sup>12</sup>	in CHF	300	400	500
Wartung & Service <sup>13</sup>	jede ... km	30.000	30.000	30.000
Reifenkosten * <sup>14</sup>	in CHF pro Reifen	55	55	55
Flottenrabatt für Reifen	in %	20	10	0
Lebensdauer der Reifen <sup>15</sup>	in km	50.000	50.000	50.000
Energieverbrauch <sup>16</sup>	in kWh pro 100 km	12,9	12,9	12,9
Elektrizitäts- & Parkkosten * <sup>17</sup>	in CHF pro kWh	0,35	0,4	0,45
Reinigungspersonal <sup>18</sup>	in CHF pro Stunde	35	35	35
Reinigungsdauer <sup>18</sup>	in Min pro Tag	20	20	20
<b>Indirekte Kosten</b>				
Overhead <sup>5</sup>	in CHF pro Tag	14	14	14
Indirekte Betriebskosten <sup>5</sup>	in CHF pro Tag	10	10	10

Hinweis: \* MwSt. abzugsfähig; <sup>1</sup> Deloitte, 2019; <sup>2</sup> Volkswagen, 2020; <sup>3</sup> Fagnant & Kockelman, 2019; <sup>4</sup> Wadud, 2017; <sup>5</sup> Boesch et al., 2018; <sup>6</sup> Finanzen.net, 2020; Migrosbank, 2021; <sup>7</sup> ADAC, 2020; <sup>8</sup> Lutsey & Nicholas, 2019; <sup>9</sup> STVA, 2020; <sup>10</sup> Comparis, 2018; <sup>11</sup> MacKenzie et al., 2014; Wadud, 2017; <sup>12</sup> Repcheck, 2020; <sup>13</sup> ADAC, 2014; <sup>14</sup> Pneuexperte, 2020; <sup>15</sup> Lange, 2020; <sup>16</sup> Volkswagen, 2020; <sup>17</sup> Swisscharge, 2021; <sup>18</sup> Quitt, 2020

### 3. Ergebnisse

Die entscheidenden Parameter für die Finanzanalyse werden durch das Verkehrssimulationsmodell bestimmt. Die zurückgelegten Gesamtkilometer der 500 Fahrzeuge belaufen sich auf 310.173 km, während jedes der Fahrzeuge im Durchschnitt 630 km pro Tag zurücklegt. Während jedes Robotaxi dabei für etwa 15 Stunden und 11 Minuten Fahrgäste

bedient, verteilt sich der Rest des Tages auf Ladevorgänge, Leerfahrten oder Inaktivität aufgrund keiner zugeordneten Fahrtwünsche. Aus nachfragebasierter Sicht werden 44.667 Fahrtwünsche bedient, was einem Durchschnitt von 89 Fahrgastfahrten pro Fahrzeug entspricht. Während sich die mit Passagieren gefahrenen Kilometer auf 567 km pro Fahr-

zeug belaufen, beträgt die ursprünglich angefragte Strecke, ohne den durch Ride-Sharing verursachten Umweg, 507 km pro Robotaxi.

**Tabelle 2**

Angebotsbasierte Ausgabeparameter der Simulation pro Robotaxi und Tag (n=500)

	Anteil	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Gefahrene Fahrzeugkilometer	100	629,88	70,31	184,48	687,78
- davon mit Fahrgästen	90,12	567,32	63,83	161,25	687,78
- davon ohne Fahrgäste	9,88	62,56	10,44	20,53	89,97

**Tabelle 3**

Nachfragebasierte Ausgabeparameter der Simulation für alle Fahrten (n=44,667)

	Gesamt	Mittelwerte	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Gefahrene Passagierkilometer	283.145,93	6,34	4,24	0,04	39,59
Angefragte Passagierkilometer	253.558,08	5,68	4,09	0,01	39,59

**Tabelle 4**

Struktur der Kosten pro Fahrzeugkilometer (in CHF)

Szenario	geringe Kosten		mittlere Kosten		hohe Kosten	
	$K_{FK}$	Anteil	$K_{FK}$	Anteil	$K_{FK}$	Anteil
Flottenkosten						
Fahrzeug-Abschreibung	0,102	44,6 %	0,120	45,7 %	0,139	47,0 %
Zinssatz	0,003	1,3 %	0,004	1,6 %	0,006	1,9 %
Ersatzbatterie	0,010	4,5 %	0,014	5,5 %	0,016	5,5 %
Registrierung & Versicherung	0,002	1,2 %	0,004	1,5 %	0,005	1,8 %
Betriebskosten						
Wartung & Service	0,009	4,0 %	0,012	4,7 %	0,015	5,2 %
Reifen	0,003	1,4 %	0,004	1,4 %	0,004	1,4 %
Elektrizitäts- & Parkkosten	0,042	18,2 %	0,048	18,2 %	0,054	18,2 %
Reinigung	0,019	8,1 %	0,019	7,0 %	0,019	6,2 %
Indirekte Kosten						
Overhead & indirekter Betrieb	0,038	16,6 %	0,038	14,5 %	0,038	12,9 %
$K_{FK}$	<b>0,230</b>	100 %	<b>0,263</b>	100 %	<b>0,296</b>	100 %

**Hinweis:**  $K_{FK}$  = Kosten pro Fahrzeugkilometer

### Ermittlung der Kosten pro Fahrzeugkilometer

Um die Kosten pro Fahrzeugkilometer zu betrachten, werden einmalige Fixkosten auf die Fahrzeuglebensdauer von 300.000 km normiert. Wiederkehrende Kosten (z.B. Wartung oder Reifen) werden zudem durch die kilometerbezogene Lebensdauer geteilt, um die benötigte Nutzung zu ermitteln. Tägliche Kosten werden durch die simulierten 630 Fahrzeugkilometer pro Robotaxi und Tag dividiert. Für die jährlichen Kosten (z.B. Versicherung oder Zinsen) werden sowohl die täglichen Fahrzeugkilometer als auch die kilometerbezogene Lebenserwartung berücksichtigt. Da laut dem Schweizer BFS (2019) die Fahrstrecke pro Person und Tag im Verlauf der Woche relativ konstant ist, werden die täglichen Nutzungsmuster auf das Jahr extrapoliert (Fagnant et al., 2015). Daher wird zunächst die Betriebszeit der Flotte anhand der täglichen Fahrzeugkilometer und der Lebenserwartung in Jahren berechnet, bevor die jährlichen Kosten addiert und durch 300.000 km geteilt werden.

Die sich daraus ergebenden Kosten pro Fahrzeugkilometer sind in Tabelle 4 dargestellt. Basierend auf der Analyse ist zu erwarten, dass jedes Robotaxi zu etwa 0,23 bis 0,30 CHF pro Fahrzeugkilometer betrieben werden kann. Die angegebene Spanne beinhaltet mögliche Umwege und Leerfahrten, die durch die Pooling-Funktionalität des Service entstehen. Für den Flottenbetreiber ergeben sich daraus unter simulierten Bedingungen je nach Kostenszenario durchschnittliche Kosten von 144,73 bis 186,70 CHF pro Fahrzeug und Tag.

### Bestimmung des Preisniveaus

Um mögliche Preisniveaus zu analysieren, müssen die Kosten auf Personenkilometer-Basis transferiert werden. Die täglich anfallenden Kosten werden demnach gemäß der simulierten gefahrenen Personenkilometer aufgeschlüsselt.

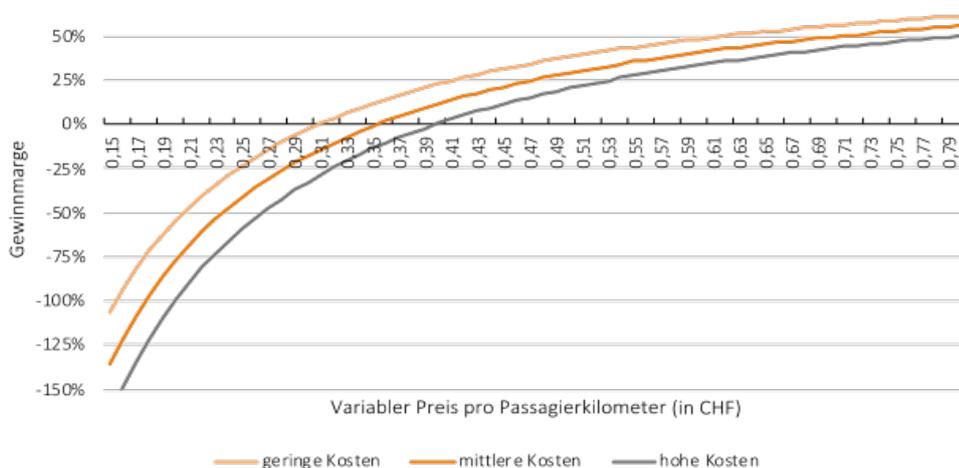
Dieser Ansatz impliziert, dass mögliche Umwege, die aufgrund des Ride-Sharing entstehen, dem Nutzer nicht in Rechnung gestellt werden. Außerdem werden in der vorliegenden Arbeit die Einnahmen nach der Anzahl der Fahrten und nicht nach der Anzahl der Fahrgäste berechnet, ähnlich wie bei herkömmlichen Taxis in Zürich (Stadt Zürich, 2015). Die Berechnung des Preises pro Personenkilometer erfolgt analog zu Boesch et al. (2018) und berücksichtigt die Schweizer Transaktionsgebühr ( $t$ ) i.H.v. 0,44 % (WEKO, 2014) und die Mehrwertsteuer. Um zudem die Wirtschaftlichkeit zu berücksichtigen, wird der aktuelle Median der Gewinnmarge ( $m$ ) im Transportsektor von 4,6 % (CSI Market, 2020) verwendet. Der Nachfrage wird im Rahmen der Studie Preisunelastizität unterstellt und das Preisniveau wird als variable, kilometerbasierte Gebühr ausgedrückt.

$$P_{PK} = \frac{K_{PK} \cdot (1 + \text{MwSt.})}{(1 - t) \cdot (1 - m)}$$

Daraus ergibt sich ein Preisniveau von 0,32, 0,37 und 0,42 CHF pro Passagierkilometer, zu welchen Robotaxis mit branchenüblichen Gewinnmargen angeboten werden können. Eine Anpassung der Formel, wie unten angegeben, ermöglicht darüber hinaus die Ableitung der entsprechenden Marge.

$$m = 1 - \frac{K_{PK} \cdot (1 + \text{MwSt.})}{(1 - t) \cdot (P_{PK})}$$

Wie in Abbildung 3 dargestellt, kann der Flottenbetreiber unter den simulierten Bedingungen und unter der Annahme einer unelastischen Nachfrage je nach Kostenszenario mit einem Preisniveau zwischen 0,3 und 0,4 CHF pro Personenkilometer kostendeckend arbeiten.



**Abbildung 3:**

Variable Preise pro Passagierkilometer mit entsprechenden Gewinnmargen

## 4. Diskussion

### Wie viel Gewinn kann ein Flottenbetreiber unter simulierten Bedingungen erzielen?

Um den Gewinn in absoluten Zahlen zu bewerten, werden die täglichen Kosten berechnet, indem die Kosten pro Fahrzeugkilometer mit den täglich zurückgelegten Fahrzeugkilometern multipliziert werden. Analog dazu wird der tägliche

Ertrag mit dem realisierbaren Preis pro Personenkilometer von 0,32 bis 0,42 CHF und den angeforderten Personenkilometern pro Tag, wie oben angegeben, berechnet. Für die Berechnung des Gewinns werden die täglichen Kosten und die Transaktionsgebühr von den täglichen Einnahmen abgezogen.

Kosten pro Tag ( $K_{\text{Tag}}$ ) = gefahrene Fahrzeugkilometer  $\cdot K_{\text{FK}}$

Umsatz pro Tag ( $U_{\text{Tag}}$ ) =  $\frac{P_{\text{PK}}}{(1 + \text{MwSt.})} \cdot \text{angefragte Passagierkilometer}$

Gewinn pro Tag ( $G_{\text{Tag}}$ ) =  $U_{\text{Tag}} \cdot (1 - t) - K_{\text{Tag}}$

### Tabelle 5

Gewinn pro Tag für eine 500-Fahrzeuge Robotaxi Flotte bei einem realisierbaren Preisniveau (in CHF)

	geringe Kosten	mittlere Kosten	hohe Kosten
Kosten	72.362,54	82.962,36	93.351,95
Umsatz	76.186,94	87.346,97	98.285,66
Gewinn	3.489,18	4.000,28	4.501,25

Der Betrieb einer Robotaxi-Flotte ermöglicht die Erwirtschaftung eines Gewinns je nach Kostenszenario und entsprechendem Preisniveau zwischen 6,98 und 9,00 CHF pro Fahrzeug und Tag. Da das Mobilitätsnutzungsverhalten in Form von Personenkilometern über alle Tage des Jahres relativ konstant ist (Fagnant et al., 2015), ergibt sich für eine Robotaxi-Flotte mit 500 Fahrzeugen ein Jahresgewinn von 1,3 bis 1,6 Mio. CHF. Da dieser Wert lediglich fahrpreisbasierte Einnahmen berücksichtigt, ergibt sich weiteres Gewinnpotential durch das Anbieten weiterer Services oder beispielsweise die gezielte Monetisierung der Daten. Es muss jedoch auch darauf hingewiesen werden, dass diese Gewinnhöhe ein Zukunftsszenario betrachtet, welches eine hohe Akzeptanz der Nutzer impliziert und durch Nachfrage- und Angebotsparameter des Modells determiniert wird.

### Preisvergleich für verschiedene Verkehrsmittel in Zürich

Um zu validieren, inwieweit Robotaxis mit dem Preisniveau anderer Mobilitätslösungen konkurrieren können, wird der Preis pro Personenkilometer in einen praktischen Kontext gestellt. Gemäß BFS (2012; 2019) beträgt die durchschnittliche tägliche Fahrleistung pro Schweizer 36,8 km und wird in 5 Fahrten zurückgelegt, die insgesamt 90,4 Min bean-

spruchen. Unter Einbezug der berechneten Parameter würde dies für Robotaxis zu Fahrtkosten zwischen 11,91 und 15,36 CHF führen, im mittleren Preisszenario zu 13,65 CHF. Tabelle 6 gibt einen Überblick über das Preisniveau des Szenarios mit mittlerem Preisniveau im Vergleich zu anderen Verkehrsmodi. Für den öffentlichen Nahverkehr dienen die 3-Zonen-Tageskarte und das Jahresabonnement der lokalen Verkehrsbetriebe in Zürich als Richtwerte (Stadt Zürich, 2021a; 2021b). Die täglichen Kosten für private Fahrzeuge werden mit den vom Touring Club Schweiz (2019) angegebenen Betriebskosten von 0,71 CHF pro Kilometer berechnet. Als Vergleichswert für Mikromobilität dient der Festpreis von 1 CHF pro Fahrt und die flexible Minuten-Gebühr i.H.v. 0,35 CHF des Roller-Sharing-Dienstes Circ als Referenz (Auer, 2019). Für Ride-Hailing dienen die Preise von Uber mit einer Fixgebühr von 3 CHF, einer Minutenpauschale von 0,3 CHF, 1,8 CHF pro Kilometer sowie Servicegebühr und Mehrwertsteuer als Vergleichswert (Uber, 2017). Der Preis für konventionelle Taxis orientiert sich am Taxitarif der Stadt Zürich mit einer fixen Gebühr von 8 CHF und einem flexiblen Preis von 5 CHF pro Kilometer (Stadt Zürich, 2015). Die Ergebnisse legen nahe, dass Robotaxis das Potential haben die Mobilitätskosten erheblich zu senken und fahr-

zeugbasierte Mobilität zum Preis des öffentlichen Nahverkehrs anzubieten. Robotaxi-Nutzer würden nur etwa 6 % bis 10 % dessen zahlen, was derzeit von Taxiunternehmen, bzw. herkömmlichen Ride-Hailing-Diensten verlangt wird. Diese Ergebnisse decken sich mit den von Boesch et al. (2018) be-

rechneten 11 % Ersparnis von autonomen gegenüber traditionellen Taxis im städtischen Gebiet. Allerdings muss auch hier beachtet werden, dass der berechnete Preis nur für eine geteilte Fahrtnutzung gilt und bei Einzelfahrten höhere Kosten zu erwarten sind.

**Tabelle 6**

Preisvergleich für verschiedene Transportmodi in Zürich

Transportmodus	Quelle der Preisfunktion	Preis (in CHF)	als vielfaches des Robotaxis
Öffentlicher Verkehr (Abonnement)	City of Zurich, 2020a	3,15	0,23
Öffentlicher Verkehr (Tagesticket)	City of Zurich, 2020b	13,60	1,00
AMoD (mittlere Kosten)	-	13,65	-
Privatfahrzeug	Touring Club Schweiz, 2019	26,13	1,91
Mikromobilität	Auer, 2019	36,85	2,70
Ride-Hailing	Uber, 2017	138,29	10,13
Traditioneller Taxiservice	City of Zurich, 2015	224,00	16,41

**Hinweis:** Die Preise beziehen sich auf die durchschnittliche tägliche Reisedistanz von 36,8 km pro Schweizer, die tägliche Reisezeit von 90,4 Minuten und 5 Fahrten pro Tag (BFS, 2012; 2019)

## 5. Fazit

Dieser Artikel adaptiert, aktualisiert und erweitert die Kostenanalyse von Robotaxis im geteilten Einsatz aus der Studie von Boesch et al. (2018) durch die Integration von drei Kostenszenarien, wie sie von Chen et al. (2016) und Loeb und Kockelman (2019) realisiert werden. Des Weiteren wird die Analyse der Robotaxi-Kosten auf Basis einer makroskopischen Verkehrssimulation in der Stadt Zürich angewendet.

Die Motivation der Studie ist es, festzustellen, bei welchem Preisniveau der Betrieb einer Flotte aus Sicht eines Mobilitätsdienstleisters rentabel ist. Der Fokus liegt dabei auf einem Szenario mit einer Flottengröße von 500 Robotaxis, in welchem die Fahrzeuge das Transportnetz erweitern, anstatt es komplett zu ersetzen.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Betrieb einer Flotte von 500 Robotaxis innerhalb der Stadt Zürich auch bei einem vergleichsweise niedrigen Preisniveau profitabel sein kann. Bei branchenüblicher Gewinnmarge kann die Flotte einen Gewinn von etwa 4.000 CHF pro Tag erwirtschaften. Die Mobilitätskosten auf Tagesbasis wurden zudem in Relation zu anderen Verkehrsmitteln gesetzt, um die Wettbewerbsfähigkeit zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nutzung von Robotaxis teurer als öffentliche Verkehrsmittel ist, jedoch deutlich günstiger als die Nutzung eines konventio-

nellen Privatfahrzeugs und sogar günstiger als andere Mobilitätsdienste, wie Mikromobilität, Ride-Hailing oder traditionelle Taxidienste.

Limitationen des vorliegenden Ansatzes sind das Fehlen von psychologischen Faktoren, wie z.B. mangelnde Akzeptanz für autonome Fahrzeuge oder fehlendes Vertrauen, welche die Verkehrsmittelwahl beeinflussen würden. Weitere Einschränkungen ergeben sich aus der Kostenableitung. Obwohl für diese Arbeit umfangreiche Recherchen durchgeführt wurden, verbleibt für einige der Kostenkomponenten eine gewisse Unsicherheit, da noch nicht klar ist, wie sich Robotaxi-Systeme und die entsprechende Infrastruktur bis zu ihrer Einführung genau entwickeln. Diese betrifft z.B. die Park- oder die indirekten Kosten.

Aufgrund des sich schnell entwickelnden Marktes wird empfohlen die Kostenstruktur der Robotaxi Flotte in Zukunft kontinuierlich zu aktualisieren. Zukünftige Forschung sollte zudem Experimente in der realen Welt inkludieren, um den Effekt von psychologischen Barrieren und Preissensibilität auf verschiedene Preisfunktionen weiter zu evaluieren.

## 6. Literatur

- AAA. (2019). Your driving costs: How much are you really paying to drive? Retrieved from <https://exchange.aaa.com/wp-content/uploads/2019/09/AAA-Your-Driving-Costs-2019.pdf>
- ADAC. (2014). VW e-Golf. Retrieved from [https://www.adac.de/\\_ext/itr/tests/autotest/at5134\\_vw\\_e\\_golf/vw\\_e\\_golf.pdf](https://www.adac.de/_ext/itr/tests/autotest/at5134_vw_e_golf/vw_e_golf.pdf)
- ADAC. (2020). VW e-Golf (ab 04/17). Retrieved from <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/vw/golf/vii-facelift/266575/>
- Auer, A. (2019). E-Trottinett & Co.: Was kosten Sharinganbieter? Retrieved from <https://www.comparis.ch/preisvergleich/elektromobilitat/information/e-scooter-sharing>
- Barceló Budgea, J., Montero Mercadé, L., & Ros Roca, X. (2018). Virtual mobility lab: a systemic approach to urban mobility challenges. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/113344>
- Bates, J., & Leibling, D. (2012). Spaced out - Perspectives on parking. Retrieved from [https://www.racfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/spaced\\_out-bates\\_leibling\\_jul12.pdf](https://www.racfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/spaced_out-bates_leibling_jul12.pdf)
- Becker, H., Balac, M., Ciari, F., & Axhausen, K. W. (2019). Assessing the welfare impacts of shared mobility and mobility as a service (MaaS). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, 228-243. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.027>
- BFS. (2012). Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010. Retrieved from <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/348719/master>
- BFS. (2019). Mobilität und Verkehr: Statistischer Bericht 2018. Retrieved from <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/6666756/master>
- Boesch, P. M., Ciari, F., & Axhausen, K. W. (2016). Autonomous vehicle fleet sizes required to serve different levels of demand. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2542, 111-119. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000104743>
- Boesch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy*, 64, 76-91. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>
- Burns, L. D., Jordan, W., & Scarborough, B. (2012). Transforming Personal Mobility. Retrieved from <http://wordpress.ei.columbia.edu/mobility/files/2012/12/Transforming-Personal-Mobility-Aug-10-2012.pdf>
- Chen, T. D., Kockelman, K. M., & Hanna, J. P. (2016). Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle & charging infrastructure decisions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 243-254. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.08.020>
- Comparis. (2018). Elektrofahrzeuge: Bis 56 Prozent billigere Versicherungsprämien. Retrieved from <https://www.comparis.ch/autoversicherung/elektromobilitat/analyse/elektrofahrzeuge-praemien-vergleichCSI>
- Market. (2020). *Transport & Logistics Industry Profitability*. Retrieved from [https://csimarket.com/Industry/industry\\_Profitability\\_Ratios.php?ind=1101](https://csimarket.com/Industry/industry_Profitability_Ratios.php?ind=1101)
- Deloitte. (2019). Urban Mobility and Autonomous Driving in 2035: How robotaxis will affect cities and automakers. Retrieved from [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/Datenland%20Deutschland%20Autonomes%20Fahren\\_EN\\_Safe.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/Datenland%20Deutschland%20Autonomes%20Fahren_EN_Safe.pdf)
- Dia, H., & Javanshour, F. (2017). Autonomous shared mobility-on-demand: Melbourne Pilot Simulation Study. In H. B. Celikoglu, A. H. Lav & M. A. Silgu (Eds.), *Transportation Research Procedia* (Vol. 22, pp. 285-296). <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.035>
- ESTV. (2020). Was ist die Mehrwertsteuer. Retrieved from <https://www.estv.admin.ch/estv/de/home/mehrwertsteuer/fachinformationen/was-ist-die-mehrwertsteuer.html>
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167-181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. M., & Bansal, P. (2015). Operations of shared autonomous vehicle fleet for Austin, Texas, market. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2536, 98-106. <https://doi.org/10.3141/2536-12>

- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2018). Dynamic ride-sharing and fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles in Austin, Texas. *Transportation*, 45, 143-158. <https://doi.org/10.1007/s11116-016-9729-z>
- Farhan, J., & Chen, T. D. (2018). Impact of ridesharing on operational efficiency of shared autonomous electric vehicle fleet. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 93, 310-321. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.04.022>
- Finanzen.net. (n.d.). Daimler Anleihen. Retrieved from <https://www.finanzen.net/anleihen/daimler-anleihen>
- Gurumurthy, K. M., Kockelman, K. M., & Loeb, B. J. (2019). Sharing vehicles and sharing rides in real-time: Opportunities for self-driving fleets. In E. Fishman (Ed.), *Advances in Transport Policy and Planning* (Vol. 4, pp. 59-85). <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2019.09.001>
- Kanton Zürich Volkswirtschaftsdirektion Amt für Verkehr. (2011). Gesamtverkehrsmodell. Retrieved from [https://afv.zh.ch/internet/volkswirtschaftsdirektion/afv/de/verkehrsgrundlagen/instrumente\\_und\\_erhebungen/gesamtverkehrsmodell.html](https://afv.zh.ch/internet/volkswirtschaftsdirektion/afv/de/verkehrsgrundlagen/instrumente_und_erhebungen/gesamtverkehrsmodell.html)
- Lange, A. (2020). Wie lange sind Ganzjahresreifen haltbar. *Ganzjahresreifen Ratgeber*. Retrieved, from <https://ganzjahresreifen-testsieger.de/wie-lange-sind-ganzjahresreifen-haltbar/>
- Loeb, B., & Kockelman, K. M. (2019). Fleet performance and cost evaluation of a shared autonomous electric vehicle (SAEV) fleet: A case study for Austin, Texas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, 374-385. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.01.025>
- Lutsey, N., & Nicholas, M. (2019). Update on electric vehicle costs in the United States through 2030. Retrieved from <https://www.theicct.org/publications/update-US-2030-electric-vehicle-cost>
- MacKenzie, D., Wadud, Z., & Leiby, P. N. (2014). A first order estimate of energy impacts of automated vehicles in the united states. Paper presented at the Transportation Research Board Annual Meeting, Vol. 93rd, Washington, DC. Retrieved from <http://faculty.washington.edu/dwhm/wp-content/uploads/2016/01/MacKenzie-Wadud-Leiby-14-2193-as-submitted.pdf>
- Migrosbank. (2021). Autokredit- Fahrzeug kaufen und flexibel bleiben. Retrieved from <https://www.migrosbank.ch/de/privatpersonen/kredit/autokredit.html>
- Milakis, D., Snelder, M., van Arem, B., van Wee, G., & Correia, G. (2017). Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: Scenarios for 2030 and 2050. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 17(1), 63-85. <https://doi.org/10.18757/ej-tir.2017.17.1.3180>
- Noekel, K., & Schaefer, T. (2018). RegioMove: Optimierte Planung von Mobility-as-a-Service-Angeboten. *EI - Der Eisenbahningenieur*, 69(10), 16-19. Retrieved from [https://www.ptvgroup.com/fileadmin/user\\_upload/Innovation\\_Research/Projects/Downloads/EI\\_10\\_2018\\_Noekel\\_Schaefer.pdf](https://www.ptvgroup.com/fileadmin/user_upload/Innovation_Research/Projects/Downloads/EI_10_2018_Noekel_Schaefer.pdf)
- Pavone, M. (2015). Autonomous Mobility-on-Demand systems for future urban mobility. In M. Maurer, J. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Eds.), *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte* (pp. 399-416). Berlin: Springer Vieweg.
- Pneuexperte. (2020). Ganzjahresreifen. Retrieved from <https://www.pneuexperte.ch/shop/ganzjahresreifen.html>
- PTV Group. (2017). The Next Move - Mobility As A Service. Retrieved from [https://www.ptvgroup.com/fileadmin/user\\_upload/Our\\_Story/Documents/PTV\\_Unternehmensbroesch\\_2017\\_EN.pdf](https://www.ptvgroup.com/fileadmin/user_upload/Our_Story/Documents/PTV_Unternehmensbroesch_2017_EN.pdf)
- Quitt. (2020). Merkblatt Mindestlöhne. [https://quitt.ch/wp-content/uploads/Mindestlohn\\_DE.pdf](https://quitt.ch/wp-content/uploads/Mindestlohn_DE.pdf)
- Repcheck. (2020). Kosten / Preise fuer Service bei einem VW Golf. Retrieved from <https://www.repcheck.ch/de/repaturen/offerten-Service-VW/1VC952-vw-golf.html>
- Spieser, K., Ballantyne, K., Treleaven, K., Zhang, R., Frazzoli, E., Morton, D., & Pavone, M. (2014). Toward a systemic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems: A case study in Singapore. In G. Meyer & S. Beiker (Eds.), *Road Vehicle Automation. Lecture Notes in Mobility* (pp. 229-245). Cham: Springer.
- Stadt Zürich. (2015). Taxitarif der Stadt Zuerich. Retrieved from [https://www.stadtzuerich.ch/content/dam/stzh/portal/Deutsch/AmtlicheSammlung/Erlasse/935/440/935.440\\_Taxitarif%20V3.pdf](https://www.stadtzuerich.ch/content/dam/stzh/portal/Deutsch/AmtlicheSammlung/Erlasse/935/440/935.440_Taxitarif%20V3.pdf)
- Stadt Zürich. (2019). Stadtrat regelt Verleih von «Free-Floating»-Zweiradfahrzeugen. Retrieved from [https://www.stadt-zuerich.ch/pd/de/index/das\\_departement/medien/medienmitteilung/2019/maerz/190307a.html](https://www.stadt-zuerich.ch/pd/de/index/das_departement/medien/medienmitteilung/2019/maerz/190307a.html)
- Stadt Zürich. (2021a). Jahresabo. Retrieved from <https://www.stadt-zuerich.ch/vbz/de/index/tickets/Abonnemente/NetzPass/Jahresabo.html>
- Stadt Zürich. (2021b). VBZ Tageskarten. Retrieved from

<https://www.stadt-zuerich.ch/vbz/de/index/tickets/tickets/tageskarten/tageskarten.html>

Stocker, A., & Shaheen, S. (2017). Shared Automated Vehicles: Review of Business Models. Retrieved from <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/11bcbc7c-en.pdf?expires=1589186397&id=id&accname=guest&checksum=C387E1968006894C1B10896443354B35>

STVA. (2020). Gebuehren: Fahrzeug: Fahrzeugausweise. Retrieved from <https://stva.zh.ch/internet/sicherheitsdirektion/stva/de/StVAgeb/GEbgebuehr/GEbfahrzeug.html>

Swisscharge. (2021). Ladestation finden. Retrieved from <https://map.swisscharge.ch/>

Touring Club Switzerland. (2019). Ein Durchschnittsfahrzeug kostet 2019 leicht mehr pro Kilometer. Retrieved from [https://www.tcs.ch/assets/docs/presse/2018/medienmitteilung\\_kilometerkosten\\_2019.pdf](https://www.tcs.ch/assets/docs/presse/2018/medienmitteilung_kilometerkosten_2019.pdf)

Uber. (2020). Juntos - How does Juntos work? Retrieved from <https://www.uber.com/br/en/ride/uber-juntos/>

Volkswagen. (2020). Der e-Golf. Retrieved from <https://www.volkswagen.ch/de/modelle/e-golf.html>

Wadud, Z. (2017). Fully automated vehicles: A cost of ownership analysis to inform early adoption. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 101, 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.005>

WEKO. (2014). WEKO bewirkt Senkung der Interchange Fees. Retrieved from <https://www.weko.admin.ch/weko/de/home/aktuell/medieninformationen/nsb-news.msg-id-55663.html>

Zhao, Y., & Kockelman, K. M. (2018). Anticipating the Regional Impacts of Connected and Automated Vehicle Travel in Austin, Texas. Journal of Urban Planning and Development, 144(4), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)up.1943-5444.0000463](https://doi.org/10.1061/(asce)up.1943-5444.0000463)