

Executive Summary

This study examines the effects of a dynamic shuttle system on overall mobility in a major European city. In doing so, we pursue two goals:

- To improve quality of life in cities, we would like to demonstrate the potential of large scale shuttle systems and how to solve the ubiquitous congestion problem.
- Second we like to show how simulation programs can help to test certain mobility scenarios. This can be particularly helpful to identify an optimal starting scenario for such a shuttle system in a certain city and to evaluate expectations of key business numbers based on a solid model.

In this case we assume a shuttle system based on human drivers that offers rides between the bus stations of the city of Hamburg, Germany. Furthermore, we assume that all rides in private vehicles would be replaced by the shuttle system whereas the share of public transport remains unaffected. In this real world situation we have restricted detour of and waiting time for shuttles to only a couple of minutes in order to be competitive with current transit times in private cars. However, we see that even with those restrictive assumptions a sufficient pooling factor is possible in order to make the system economically feasible.

The simulation is based on data provided by Telefónica NEXT. This enables us to work with a number of real world rides that is roughly a thousand times higher than in usual state-of-the-art examinations.

The introduction of an on-demand shuttle system in Hamburg has the following effects:

- **Shorter transit times**
Due to congestion and search for parking there is currently a delay of 13 minutes per ride. A station-based shuttle system could cut this amount to 9 minutes, mainly caused by the passages on foot to the stations, the waiting time and the detour. The calculations correlate to the duration from door-to-door.
- **About 57% lower total costs per kilometer**
Thanks to pooling, more efficient car utilization and the elimination of the need to search a parking space reduce the average cost per kilometer to 57%; drivers' salaries included.

- **About 97% less cars**

The number of cars needed, drops by about 97%. At the same time the mileage of the remaining cars rise significantly. The smaller number of parking spaces needed leads to considerably less land consumption in Hamburg. Instead of 740,000 vehicles that are registered today, the complete urban traffic could be covered by 22,000 shuttles.

- **About 61% less driven kilometers**

Despite approach routes and empty shuttle rides the kilometers driven decrease about two thirds due to a high level of pooling; especially during rush hour. This leads to a significant reduced carbon footprint and noticeable lower emissions of noise and particulates.

Additional findings of the simulation:

- **More rides lead to a higher pooling level**

Pooling is particularly efficient during rush hour. In case of limited availability of shuttles the operation area can be adjusted accordingly. This enables the operation of a shuttle system on a smaller scale with higher effects of pooling. For this, the exact pooling factor in a certain area given a certain demand and a number of shuttles should be evaluated for the particular case in question.

- **Weekly traffic peak is on Thursday morning**

1.3% of all rides of the week happen between 7 and 8 am on Thursday morning.

- **Congestion is almost completely eliminated by less kilometers driven**

The effects of pooling are particularly high during traffic hour; the kilometers driven decrease disproportionately. This results in virtually no congestion.



Erneuerung der städtischen Mobilität

Wie kann ein Shuttle-System
den kompletten motorisierten
Individualverkehr in Hamburg
ersetzen?

Impressum

flinc GmbH

Heinrich-Hertz-Straße 6
64295 Darmstadt
Deutschland

Tel: +49 6151-39212360
info@flott-shuttle.de
www.flott-shuttle.de
www.flinc.de

Autoren: Steffen Huß, Carolin Frick, Moritz Keck
Layout: Stefan Zoll

Veröffentlicht am 17.11.2016

Inhalt

Ergebnisse im Überblick.....	3
1. Einleitung.....	5
2. Mobilität in Hamburg.....	7
3. Datengrundlage	11
3.1 Beschreibung	11
3.2 Datenqualität	12
3.3 Anreicherung der O/D-Matrix.....	12
3.4 Bewertung der Daten.....	13
3.5 Korrekturfaktoren und Annahmen	14
4. Simulation.....	15
4.1 Beschreibung	15
4.2 Ergebnisse	17
5. Vorteile gegenüber dem heutigen Autoverkehr	20
6. Resümee & Ausblick.....	24
Quellenverzeichnis.....	27

Ergebnisse im Überblick

Diese Studie untersucht die Auswirkungen eines haltestellenbasierten Shuttle-Systems auf die Mobilität in Hamburg. Das System berechnet auf Basis der Nachfrage die günstigste Route und bringt mehrere Passagiere mittels Pooling schnell und bequem ans Ziel. Die detaillierte Bestimmung des Pooling-Faktors wird durch eine neue Kombination aus Daten ermöglicht, die die Grundlage für eine praxisnahe Simulation ist. Insbesondere die Erkenntnisse aus der Analyse anonymisierter Mobilitätsdaten der Telefónica NEXT stellt diese Studie auf eine deutlich breitere Fahrtenbasis.

Das konkrete Szenario für die Untersuchung eines Shuttle-Systems ist die vollständige Ersetzung des motorisierten Individualverkehrs in Hamburg – ohne Einbußen bei Weggeschwindigkeit und Flexibilität. Wichtig ist, dass das Shuttle-System auch in deutlich kleinerem Maßstab positive Auswirkungen auf das Stadtbild hat.

Die Einführung eines Shuttle-Systems in Hamburg hat folgende Auswirkungen:

- **Kürzere effektive Wegzeiten**
Durch Stau und Parkplatzsuche kommt es aktuell im Autoverkehr zu einer Verzögerung von rund 13 Minuten pro Fahrt. Ein haltestellenbasiertes Shuttle-System kann diesen Wert auf 9 Minuten senken. Die Berechnungen beziehen sich in diesem Fall auf die Dauer des Wegs von Tür-zu-Tür.
- **Rund 57% geringere Gesamtkosten pro Kilometer**
Durch Pooling, effizientere Fahrzeugnutzung und die Abschaffung des Parksuchverkehrs sinkt der durchschnittliche Preis pro Kilometer um 57%. Die Kosten für Shuttle-Fahrer sind dabei bereits berücksichtigt.
- **Rund 97% weniger Autos**
Mit einem Shuttle-System sinkt die Zahl der benötigten Fahrzeuge um 97%. Gleichzeitig steigt die Laufleistung der Autos pro

Tag deutlich – dadurch kann der parkraumbedingte Flächenverbrauch in Hamburg erheblich reduziert werden. Statt mit 740.000 zugelassenen Fahrzeugen kann der innerstädtische Verkehr mit 22.000 Shuttles abgedeckt werden.

- **Rund 61% weniger gefahrene Kilometer**

Trotz Anfahrtswege und Leerfahrten von Shuttles sinken die Fahrzeugkilometer um fast zwei Drittel; Grund hierfür sind hohe Pooling-Faktoren, insbesondere zu Stoßzeiten. Dies führt zu einer deutlich besseren CO₂-Bilanz sowie erheblicher Reduktion von Lärm- und Feinstaubemissionen.

Weitere Erkenntnisse der Simulation:

- **Pooling-Faktor steigt mit der Zahl der Fahrten**

Zu Stoßzeiten kann besonders effizient gepoolt werden. Ist die Zahl der zur Verfügung stehenden Shuttles begrenzt, kann das Geschäftsgebiet entsprechend angepasst werden. Dies ermöglicht ein Shuttle-System auch in kleinerem Maßstab mit höheren Pooling-Effekten zu betreiben.

- **Wöchentliches Verkehrsmaximum ist Donnerstagmorgen**

Zwischen 7:00 und 8:00 Uhr morgens finden donnerstags rund 1,3% aller Fahrten der Woche statt – Höchstwert!

- **Durch die Verringerung der gefahrenen Kilometer wird Stau fast vollständig eliminiert**

Zu Stoßzeiten sind die Pooling-Effekte besonders hoch. Dementsprechend sinkt die Zahl der gefahrenen Kilometer überproportional. Dies führt dazu, dass Stauzeiten durch hohes Verkehrsaufkommen nahezu komplett entfallen.

1. Einleitung

Im Schnitt ist ein Auto in Deutschland heute 23 Stunden am Tag ungenutzt – und erzeugt damit im parkenden Zustand immense Kosten. Gemessen an der tatsächlichen Nutzzeit sind die Betriebskosten eines Privat-PKW also extrem hoch. Und egal, ob Carsharing oder Privatfahrzeug: pro Fahrt sind bis heute im Schnitt nur 1,5 Personen an Bord¹. Gleichzeitig führt der motorisierte Individualverkehr zu überlasteten Innenstädten, zahlreichen Verkehrsunfällen, extremen Umwelt- und Klimabelastungen und Krankheiten durch Stress.

Alternative Mobilitätsformen wie Carsharing sind in Deutschland zwar bekannt und versprechen Abhilfe, haben allerdings in der Praxis – im Vergleich zum eigenen PKW – gravierende Nachteile: Mangelnde Flexibilität, eingeschränktes Geschäftsgebiet und schlechte Bedienbarkeit der Systeme stellen zu große Hindernisse für die breite Masse dar. Nur durchschnittlich 0,9% der Deutschen nahmen diesen Service im laufenden Jahr in Anspruch.² Auch Ridesharing schafft es bis dato nicht alleinig, die erhofften Erfolge zu erzielen.³

Ein Shuttle-System kombiniert die Stärken des öffentlichen Nahverkehrs wie Umweltbewusstsein, Pooling und Erschwinglichkeit mit den Vorzügen des eigenen Autos wie Komfort und Flexibilität und egalisiert gleichzeitig deren Nachteile. Das System berechnet auf Basis der Nachfrage die günstigste Route und bringt mehrere Passagiere mittels Pooling schnell und bequem ans Ziel.

¹ Vgl. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft (2010): Mobilität in Deutschland 2008, S. 13, http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Kurzbericht_I.pdf (Abruf: 27.10.2016)

² Vgl. Statista (2016): Umfrage in Deutschland zu Interesse an und Nutzung von Carsharing 2016, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/257867/umfrage/carsharing--interesse-und-nutzung-in-deutschland> (Abruf: 27.10.2016)

³ Vgl. U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration (2016): Shared Mobility – Current Practices And Guiding Principles, S. 27, <http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop16022/fhwahop16022.pdf> (Abruf: 01.11.2016)

Besondere Relevanz bei der Planung und Realisierung eines Shuttle-Systems hat das Pooling-Potential, welches auf neue Weise mittels einer Kombination von Daten errechnet werden kann. Dieses Potential kann für Fälle mit wenigen Shuttles auf einem kleineren Gebiet – einem typischen Einstiegsszenario – bis hin zu einem Modell mit mehreren tausend Shuttles bestimmt werden.

In diesem Fall wird ein Szenario untersucht, bei dem ein haltestellenbasiertes Shuttle-System den gesamten motorisierten Individualverkehr innerhalb einer Stadt ersetzt. Dadurch lässt sich nicht nur die Untersuchung des Pooling-Faktors demonstrieren, sondern auch das Potential eines Shuttle-Systems zur Bewältigung innerstädtischer Verkehrsprobleme. Durch Nutzung vorhandener Kapazitäten und Technologien kann Mobilität flexibler, komfortabler, günstiger und umweltschonender gestaltet werden.

Die zentrale Frage der Studie lautet also: Wie viele Shuttles wären nötig, um alle Privat-PKW in Hamburg zu ersetzen?

Um einen möglichst praxisnahen Anwendungsfall zu kreieren, wurden folgende Bedingungen definiert:

1. **Kein Zeitverlust**

Um eine neue, umweltschonende und effizientere Mobilitätsform in der Gesellschaft zu etablieren, ist es zwingend erforderlich, dass eine Shuttle-Fahrt im Schnitt nicht länger andauert als aktuell eine Fahrt mit dem Privatauto.

2. **Finanzierbarkeit**

Ein weiterer wichtiger Faktor dieser neuen Mobilitätsform ist der Preis. Die Nutzung darf für den Passagier nicht teurer sein als die des eigenen PKWs und muss sich preislich nach dem öffentlichen Nahverkehr richten.

3. **Umsetzbarkeit**

Diese Studie zeigt, dass unser Verkehrsproblem mit bestehenden Technologien bereits heute lösbar ist. Das schließt natürlich weitere Verbesserungen durch technologischen Fortschritt – beispielsweise mit selbstfahrenden Autos oder steuernden Algorithmen – für die Zukunft nicht aus.

Diese Studie beschäftigt sich zunächst mit der Mobilitätsinfrastruktur und deren Folgen in der Hansestadt Hamburg. Mit Hilfe anonymisierter Mobilfunkdaten der Telefónica NEXT, demographischer und geographischer

Daten werden Auswirkungen dieses neuen Verkehrsmittels auf Verkehrsstruktur, CO₂-Ausstoß, Feinstaubwerte, Lärmbelastung sowie Park-, Wohn- und Lebensraum dargestellt. Hierbei wird auch das Einsparpotential der Gesamtkosten des Individualverkehrs berücksichtigt.

2. Mobilität in Hamburg

Um eine exakte Grundlage für die Simulation zu schaffen, müssen konkrete Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Hierzu gehören das Mobilitätsmuster sowie die räumliche Struktur des gewählten Testbereichs innerhalb eines Stadtgebiets.

Die Simulation basiert auf ausgewählten Mobilitätsdaten der Stadt Hamburg. Mit ungefähr 1,8 Millionen Einwohnern auf einer Fläche von 755 km² ist Hamburg die zweitgrößte Stadt Deutschlands. Hamburg gilt nicht nur als einer der bedeutendsten Logistikstandorte Europas, die Hansestadt ist auch ein wichtiger Verkehrsknotenpunkt sowie Zentrum für Technologie, Wissenschaft und Medien.

90% aller Einwohner der Stadt Hamburg sind täglich mobil. Sie legen durchschnittlich 32 Kilometer, verteilt auf 3,3 Wege pro Tag zurück und sind dabei ungefähr 80 Minuten unterwegs. Damit liegt Hamburg im Bundesdurchschnitt und eignet sich ideal als Testgebiet für die Simulation. Zusätzlich steigt die Lebensmobilität an der Elbe: Arbeit, Wohnort und soziales Umfeld sind schon lange nicht mehr starr, sondern werden flexibel an die jeweilige Lebenssituation angepasst. Der Bedarf an multimodaler Mobilität steigt – bereits heute setzt sich das Mobilitätsverhalten zu großen Teilen aus der Kombination von PKW und öffentlichen Verkehrsmitteln zusammen.⁴

⁴ Vgl. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft (2011): Mobilität im Großraum Hamburg/MiD 2008, S. 8, http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/Praesentation_MiD_Bericht_Region_HH_Regionalkonferenz_VerkehrMobilitaet.pdf (Abruf: 01.11.2016)

Wege am Stichtag – Anzahl, Länge und Zeitbedarf: knapp 1,5 Stunden täglich

Personen, alle Wege einschließlich Wirtschaftsverkehr, Angaben in Prozent bzw. Mittelwerte

infas

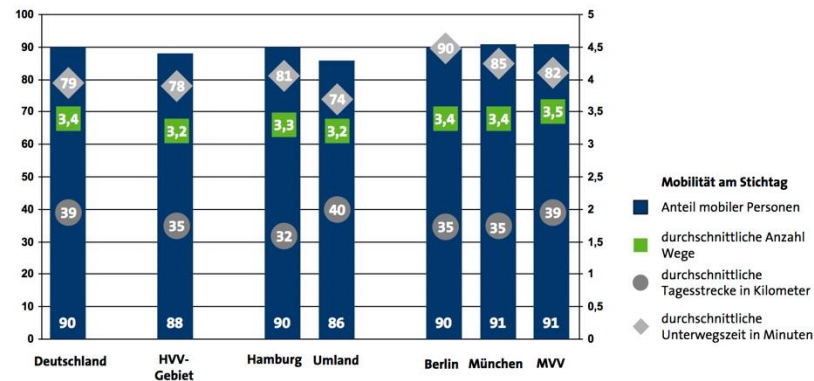


Abb. 1: Wege am Stichtag – Anzahl, Länge und Zeitbedarf

Quelle: infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft (2011): *Mobilität im Großraum Hamburg/MiD 2008*, S. 8,

http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/Praesentation_MiD_Bericht_Region_HH_Regionalkonferenz_VerkehrMobilitaet.pdf (Abruf: 01.11.2016)

Der öffentliche Nahverkehr in Hamburg wird mehrheitlich vom Hamburger Verkehrsverbund (HVV) betrieben. Vor allem im innerstädtischen Bereich ist das Verkehrsnetz besonders dicht und verfügt über U-Bahn, S-Bahn und Buslinien. Angebot, Taktung und Flexibilität verändern sich allerdings, je weiter sich der Fahrgast aus dem Stadtkern heraus bewegt. Hier werden generelle Schwachstellen des öffentlichen Nahverkehrs – wie starre Fahrpläne und fixe Routen – sichtbar. Dennoch vertrauen viele Hamburger auf Bus und Bahn: Durchschnittlich sind täglich über 2,4 Millionen Menschen mit dem HVV unterwegs⁵, also knapp 750 Millionen Fahrgäste pro Jahr⁶. Schon 1912 wurde mit der Erschließung des U-Bahn-Systems der Grundstein für ein mobilitätsfreundliches

⁵ Vgl. Hamburger Verkehrsverbund GmbH HVV (2016): *Der HVV – Übersicht*, <http://www.hvv.de/ueber-uns/der-hvv/uebersicht/index.php> (Abruf: 27.10.2016)

⁶ Vgl. Hamburger Verkehrsverbund GmbH HVV (2016): *Der Hamburger Verkehrsverbund*, S. 18, http://www.hvv.de/pdf/publikationen/hvv_unternehmensbroschuere.pdf (Abruf: 27.10.2016)

Stadtgebiet gelegt⁷, das mit der Gründung des HVV 1965 erweitert wurde. Heute bewegt sich der HVV in Richtung Digitalisierung und geht beispielsweise mit kostenfreiem WLAN in Bus und Bahn oder Ticketkauf per App auf Kundenbedürfnisse ein.

Hamburg liegt mit 402 Autos pro 1.000 Einwohner zwar unter dem Bundesdurchschnitt (503 Autos pro 1.000 Einwohner)⁸, jedoch kämpft die Stadt mit akuten Parkplatzproblemen: „Schon jetzt herrscht ein starker Parkdruck in den Quartieren. Bei steigender Einwohnerzahl und somit auch steigenden Autozahlen wird langfristig ein autogerechter Umbau der Stadt nicht möglich sein“⁹, sagt Staatsrat Andreas Rieckhof. Die Einwohnerzahl in Hamburg wächst also entgegen der deutschlandweiten Bevölkerungsabnahme.¹⁰ Daraus resultieren Staus, Lärm und eine erhöhte Umweltbelastung. Hinzu kommt, dass die rund 740.000 zugelassenen PKW in Hamburg¹¹ 23 Stunden am Tag ungenutzt in Hamburg parken.¹² Verkehrsinfrastruktur und Lebensraum werden dabei stark belastet. Abhilfe schafft teilweise Carsharing: Anbieter wie car2go und DriveNow haben seit 2011 mehrere hundert Fahrzeuge im Stadtgebiet platziert. Auch wenn Hamburg eine der führenden deutschen Carsharing-

⁷ Vgl. Hamburger Hochbahn AG (2016): Geschichte, <https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Unternehmen/UnserJobfuerHamburg/Geschichte> (Abruf: 27.10.2016)

⁸ Vgl. Utopia GmbH (2016): Ländervergleich: Wie viele Autos pro Kopf?, <https://utopia.de/0/galerie/laendervergleich-wie-viele-autos-pro-kopf/3> (Abruf: 27.10.2016)

⁹ Vgl. Stadt Hamburg (2016): Pilotprojekt soll Parkplatz-Knappheit verringern, www.hamburg.de/nachrichten-hamburg/7084644/pilotprojekt-soll-parkplatz-knappheit-verringern (Abruf: 20.10.2016)

¹⁰ Vgl. Freie und Hansestadt Hamburg – Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz (2014): Demografie-Konzept Hamburg 2030, S. 8, <http://www.hamburg.de/contentblob/4282416/data/download-demografiekonzept-hamburg2030.pdf> (Abruf: 27.10.2016)

¹¹ Vgl. Nahverkehr Hamburg (2015): Statistikamt: Hamburger besitzen immer mehr Autos, <http://www.nahverkehrhamburg.de/statistikamt-hamburger-besitzen-immer-mehr-autos-3047> (Abruf: 27.10.2016)

¹² Vgl. Hamburger Wochenblatt (2016): Mehr Parkplätze für Carsharing in Hamburg, <http://www.hamburger-wochenblatt.de/barmbek/lokales/mehr-parkplaetze-fuer-carsharing-in-hamburg-d35653.html> (Abruf: 27.10.2016)

Städte ist, ist die Nutzung mit durchschnittlich 0,9% noch sehr gering.¹³ Auch Lasse Behrens, Entwicklungs- und Releasemanager der Hamburger Hochbahn AG, bekräftigt: „Carsharing ist ein Produkt der Digitalisierung, aber nur ein Übergangsmodell“.¹⁴

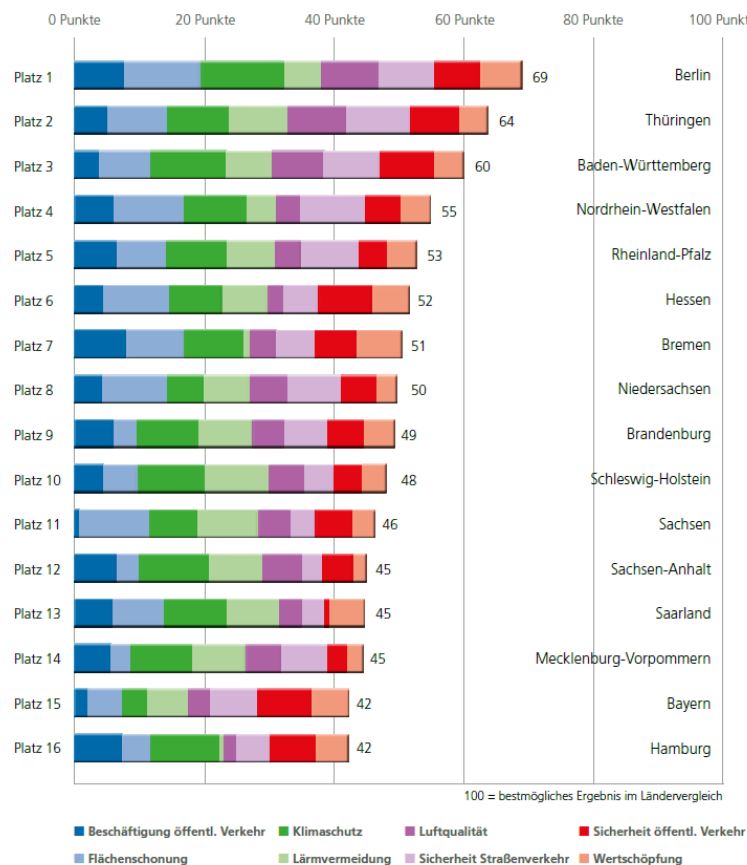


Abb. 2: Bundesländerindex Mobilität

Quelle: Allianz pro Schiene e.V. (2015): Bundesländerindex Mobilität, S. 7, https://www.allianz-pro-schiene.de/wp-content/uploads/2015/09/_bundeslaenderindex-mobilitaet-2014-2015.pdf (Abruf: 27.10.2016)

Im bundesweiten Mobilitätsindex, der unter anderem die Bereiche Klimaschutz, Luftqualität, Sicherheit, Straßenverkehr, Flächenschonung und

¹³ Vgl. Statista (2016): Umfrage in Deutschland zu Interesse an und Nutzung von Carsharing 2016, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/257867/umfrage/carsharing--interesse-und-nutzung-in-deutschland> (Abruf: 27.10.2016)

¹⁴ Vgl. comobility.news (2016): Lasse Behrens, Marcel Amstutz, Sebastian Schuster, <http://comobility.news/lasse-behrens-marcel-amstutz-sebastian-schuster> (Abruf: 27.10.2016)

Lärmvermeidung berücksichtigt, belegt Hamburg den letzten Platz.¹⁵ Ein Shuttle-System kombiniert die Stärken des öffentlichen Nahverkehrs mit den Vorzügen des eigenen Autos und egalisiert gleichzeitig deren Nachteile. Dieses neue Verkehrsmittel würde der Stadt Hamburg einen immensen Zugewinn in den Bereichen Umwelt, Verkehr, Lärmbelastung und Lebensraum bringen.

3. Datengrundlage

3.1 Beschreibung

Für eine möglichst exakte Darstellung der Verkehrsströme werden Erkenntnisse auf Basis von Mobilfunkdaten der Telefónica Germany GmbH & Co. OHG sowie demographische und geographische Daten eingesetzt. Die verwendeten Mobilfunkdaten sind im September und Oktober 2015 im normalen Geschäftsbetrieb bei Telefónica Deutschland angefallen. Diese Daten durchliefen zunächst ein spezielles Anonymisierungsverfahren von Telefónica NEXT, wodurch sie vollständig aggregiert und anonymisiert wurden; jeder Personenbezug wurde entfernt. Um jegliche Zuordnung von Positionen zu Personen auszuschließen, wurden verschiedene Maßnahmen durchgeführt – so wurden zum Beispiel Daten nur dann erhoben, wenn ein bestimmtes Kriterium auf mindestens 5 Personen zutraf. Sind zum Beispiel innerhalb einer Stunde zwischen zwei Postleitzahlgebieten nur 4 Personen unterwegs gewesen, wurde die entsprechende Zählung nicht erfasst und somit auf Null gesetzt. Dadurch wurde eine mögliche Identifikation bestimmter Personen oder Personengruppen anhand ihres Mobilitätsverhaltens ausgeschlossen.

Datenbasis der Simulation ist somit eine Origin-Destination-Matrix (O/D-Matrix)¹⁶ auf Stunden- und Postleitzahl-Niveau. Für jede Stunde einer

¹⁵ Vgl. Allianz pro Schiene e.V. (2015): Bundesländerindex Mobilität, S. 7, <https://www.allianz-pro-schiene.de/wp-content/uploads/2015/09/bundeslaenderindex-mobilitaet-2014-2015.pdf> (Abruf: 27.10.2016)

¹⁶ Vgl. Zukunft der Mobilität (2015): Datenbasierte Verkehrsplanung: Vom Papier-Erhebungsbogen zu Big Data, <http://www.zukunft->

Woche wird die Zahl der Fahrten zwischen zwei Postleitzahlgebieten angegeben. Durch den Vergleich der Daten untereinander sowie dem Vergleich dieser Daten mit Fahrplandaten des öffentlichen Nahverkehrs, konnten Fahrten des ÖPNV von denen des Individualverkehrs unterschieden werden. Für diese Studie wurden ausschließlich Fahrten berücksichtigt, die individuell zurückgelegt wurden.

3.2 Datenqualität

Basis für die vorliegende O/D-Matrix waren rund 35 Millionen Fahrten, die vollständig im Gebiet der Hansestadt Hamburg zurückgelegt wurden. Aus datenschutzrechtlichen und technischen Gründen wurden dabei Fahrten ab einer Länge von 2 Kilometern zuverlässig erfasst. Für eine sichere Erfassung war außerdem ein bestimmter Zeitabstand zwischen Ankunft am Zielort und Start der Rückfahrt nötig. Zeitlich konnten die Daten einer Fahrt bis auf eine Stunde genau festgelegt werden; örtlich erfolgte die Zuordnung auf Basis der Postleitzahlengebiete. Die erreichte Genauigkeit ist bereits jetzt sehr hoch: Ein Postleitzahlgebiet in Hamburg entspricht im Schnitt einer Einwohnerzahl von 17.000. In Zukunft kann diese örtliche Zuteilung sogar noch genauer vorgenommen werden.

3.3 Anreicherung der O/D-Matrix

Um von der postleitzahlgenauen O/D-Matrix zu konkreten, adressspezifischen Fahrten zu gelangen, wurde die Matrix mit demographischen Daten des Statistischen Amtes für Hamburg und Schleswig-Holstein¹⁷ und geographischen Daten der Open Street Map Database kombiniert. In der Berechnung der adressgenauen Fahrten sind Daten über die Bevölkerungsstruktur innerhalb eines bestimmten Gebiets sowie Daten zur Flächennutzung enthalten.

Durch die demographischen Daten wurde zum Beispiel definiert, dass in einem Gebiet mit hohem Arbeitnehmeranteil der Anteil der Pendlerfahrten entsprechend höher war. Für die Verteilung der ankommenden und abgehenden Fahrten innerhalb eines Gebiets wurde anschließend auf die Daten zur Flächennutzung zurückgegriffen. Mit diesen Daten konnten beispielsweise Pendlerfahrten am Morgen so bestimmt werden, dass sie

mobilitaet.net/103615/analyse/datenbasierte-verkehrsplanung-big-data-mobilfunkdaten-optimierung-trajektorien/ (Abruf: 14.11.2016)

¹⁷ Vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig Holstein (2016): Zusammenstellung von Daten über Hamburg, <http://region.statistik-nord.de/compare/selection/2> (Abruf: 02.11.2016)

größtenteils von Wohngebieten innerhalb eines Postleitzahlgebiets zu Gewerbegebieten oder Geschäftsstandorten eines anderen Postleitzahlgebiets verliefen. Auf diese Weise wird eine bestmögliche Rekonstruktion der tatsächlichen Fahrten aus der O/D-Matrix sichergestellt.

3.4 Bewertung der Daten

Die Daten der Telefónica NEXT ermöglichen eine annähernd lückenlose Erfassung aller Pendlerströme. Darüber hinaus geben sie einen detaillierten Einblick in weitere Fahrten. Die bevorzugte Methode zur Gewinnung von Mobilitätsdaten ist aktuell ein Survey-Verfahren: Mit Hilfe von Umfragebögen werden Haushalte nach ihren zurückgelegten Fahrten befragt. Diese Fahrten werden dann mittels demographischer Daten auf die Gesamtbevölkerung hochgerechnet.

Die in dieser Studie verwendeten Daten unterscheiden sich von den herkömmlich gewonnenen Daten vor allem im Umfang der Fahrten. Bezogen auf Hamburg stützt sich unsere O/D-Matrix auf mehrere Millionen Fahrten. Mit Umfragemethoden lässt sich dagegen maximal eine Datenbasis mit einigen tausend Fahrten generieren. Die verwendete Datenbasis ist damit in etwa um den Faktor tausend größer und dementsprechend genauer. Zusätzlich können die Telefónica Deutschland-Daten in weitaus kürzeren Zyklen gewonnen werden, sodass sie das Mobilitätsverhalten deutlich aktueller wiedergeben können.

Da es sich bei den Daten der O/D-Matrix nicht um Umfrage-Daten handelt, sind hier Verzerrungen, die durch nicht-repräsentative Stichproben entstehen, ausgeschlossen. Haben zum Beispiel bestimmte Bevölkerungsgruppen die Neigung, die Beantwortung der Fragebögen zu verweigern, dann wird deren Mobilitätsverhalten unzureichend abgebildet – jedenfalls dann, wenn genannte Gruppe nicht durch beobachtbare Merkmale identifizierbar ist (Alter, Einkommen, etc.). Da Telefónica Deutschland mit über 44 Millionen Kunden der größte Mobilfunkanbieter Deutschlands ist¹⁸, ist diese Gruppe sehr repräsentativ für die Gruppe der

¹⁸ Vgl. Bundesnetzagentur (2016): Teilnehmerentwicklung im Mobilfunk, http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktbeobachtung/Deutschland/Mobilfunkteilnehmer/Mobilfunkteilnehmer_node.html (Abruf: 31.10.2016)

Handybenutzer. Die vorliegenden Daten wurden dann auf die Gesamtbevölkerung extrapoliert, inklusive der kleinen Gruppe der Nicht-Handy-Nutzer.¹⁹

Obwohl kurze Fahrten und Fahrten mit zeitnaher Rückfahrt in der O/D-Matrix weniger berücksichtigt werden, ist eine Verzerrung im Falle Hamburgs limitiert. Aus datenschutzrechtlichen Gründen wurden Fahrten, die zwischen Postleitzahlgebieten mit wenigen Verbindungen untereinander stattfanden, entfernt. Vergleicht man jedoch die Anzahl der Fahrten bei Erfassung auf Tagesbasis (für eine Verbindung sind lediglich 5 Fahrten pro Tag erforderlich, um in die Auswertung einzufließen) mit der auf Stundenbasis, dann steigt die Zahl der Fahrten um weniger als 5%.

Insgesamt bietet die vorliegende O/D-Matrix aber neue und bessere Möglichkeiten, die Verkehrssituation in einer Stadt zu analysieren und potentielle Verbesserungen zu überprüfen. Diese Studie gilt daher als einer der ersten Schritte, um das Potential von Mobilfunkdaten für die Verkehrsplanung aufzuzeigen.

3.5 Korrekturfaktoren und Annahmen

Die Studie betrachtet das Potential eines Shuttle-Systems eher konservativ. Dafür sind einige Korrekturfaktoren nötig:

1. Im vorliegenden Datensatz werden Fahrten, die für sich alleine stehen und daher aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht berücksichtigt wurden, nicht in Betracht gezogen. Diese Fahrten stellen jedoch weniger als 5% dar. Weil bei diesen Fahrten ein Pooling schwerer ist als im Schnitt, wird davon ausgegangen, dass 8% mehr Shuttles nötig sind, um diese Fahrten durchführen zu können.
2. Zudem werden Fahrten, die kürzer sind als 2 Kilometer, nur eingeschränkt repräsentiert. Dies sind rund 30% aller Fahrten, die jedoch mehrheitlich mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegt werden.²⁰ Unsere Tests haben ergeben, dass solche kurzen Fahr-

¹⁹ Vgl. BITKOM (2013): 63 Millionen Handy-Besitzer in Deutschland, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/63-Millionen-Handy-Besitzer-in-Deutschland.html> (Abruf: 31.10.2016)

²⁰ Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2004): Mobilität in Deutschland 2002 – Ergebnisbericht, S. 92, http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/ergebnisbericht_mid_ende_144_punkte.pdf (Abruf: 01.11.2016)

ten besser zu poolen sind als der Durchschnitt aller Fahrten. Anzunehmen ist allerdings, dass nicht alle ihre Fahrten mit einem Shuttle-System tätigen würden. Daher reicht eine um 5% höhere Zahl an Shuttles aus, um diese Fahrten abzudecken.

3. Es wird angestrebt, dass ein Shuttle-System die Nachfrage an Fahrten sicher abdecken kann. Aus diesem Grund ist ein Puffer an Fahrzeugen nötig, um ein unerwartetes Ansteigen der Gesamtnachfrage bedienen zu können. Dieser Puffer wird hier großzügig mit 10% berechnet, könnte aber durch eine adäquate Prognose der Nachfrage reduziert werden.
4. Um von der O/D-Matrix auf Stundenbasis zu konkreten Fahrten zu kommen, müssen die Fahrten auf eine exakte Uhrzeit innerhalb der angegebenen Stunde gesetzt werden. Hierzu werden Annahmen getroffen, wie sich die Fahrten innerhalb der Stunde verteilen. Für diese Studie wurde die für das Pooling ungünstigste Annahme getroffen: eine nahezu völlige Gleichverteilung. Aus diesem Grund ist der Pooling-Faktor dieser Studie eher gering. Eine Ausnahme stellen lediglich Fahrten zur Schule dar, die sich im Zeitfenster zwischen 7:30 und 8:00 Uhr befinden.
5. Gegenwärtig sind Privat-PKW im Schnitt mit 1,5 Passagieren besetzt; es könnten also in 50% der Fälle Fahrtenpaare gebildet werden. Da innerstädtische Fahrten tendenziell kürzer sind, ist davon auszugehen, dass diese Zahl jedoch etwas geringer ausfällt als im Durchschnitt. Deshalb werden in diesem Szenario nur 40% der Fahrten zu Paaren zusammengelegt.
6. Aktuell haben die Daten der Telefónica NEXT die Tendenz, die Zahl der Fahrten minimal zu unterschätzen. Aus diesem Grund wurde zur Sicherheit ein Puffer von 5% zur Anzahl der Fahrten hinzugerechnet. Zukünftig ist damit zu rechnen, dass die Auswertung der Fahrten noch genauer wird und dieser Puffer entfallen kann.

4. Simulation

4.1 Beschreibung

Durch die oben beschriebenen Daten konnte die Nachfrage nach Fahrten bestimmt werden. Der Simulator für diese Studie wurde in der Programmiersprache Julia geschrieben. Für die Simulation werden konkrete Annahmen zur Organisation des Shuttle-Angebots getroffen:

1. Die eingesetzten Fahrzeuge sind 9-Sitzer, die abzüglich des Fahrers Platz für 8 Passagiere bieten.
2. Da eine haltestellenbasierte Betriebsform gewählt wurde (Station-zu-Station, nicht Tür-zu-Tür), berücksichtigt die Simulation alle Haltestellen des Hamburger Verkehrsverbunds. Mehrfachhaltestellen – mehrere Haltepunkte verschiedener Buslinien an einer Haltestelle – wurden dabei als einzelne Haltestelle gewertet. Insgesamt ergibt sich so eine Zahl von 1.536 Haltestellen. Damit erreicht die große Mehrheit aller Haushalte in Hamburg eine Haltestelle in maximal 5 Minuten zu Fuß. In der Praxis kann das Haltestellen-Netz für ein Shuttle-System erweitert werden. Im Gegensatz zu Großraumbussen sind Shuttles in der Lage, auch Haltestellen in engeren Wohngebieten anzufahren. Tests haben ergeben, dass eine höhere Anzahl von Haltestellen im gleichen Gebiet nur geringe Auswirkungen auf das Pooling hat.
3. Der Pooling-Algorithmus wurde so entwickelt, dass bestimmte Qualitätskriterien erfüllt werden. So wird eine Wartezeit von maximal 5 Minuten toleriert. Der Umweg darf eine Verlängerung der Fahrtzeit um 20% für einen direkten Weg nicht überschreiten. 5 Minuten Umweg sind jedoch immer zulässig. Ist die Wartezeit kürzer als 5 Minuten, wird die Differenz auf den Umweg aufgeschlagen. Aufgrund dieser Qualitätskriterien ergeben sich Warte- und Umwegzeiten, die im Durchschnitt deutlich unter den maximal zulässigen Werten bleiben.
4. Für Shuttles, die keine Fahrgäste transportieren, wurde ein spezieller Algorithmus entwickelt (Predictive Repositioning Algorithm). Dieser Algorithmus formt automatisch Erwartungen zur bevorstehenden Nachfrage an den einzelnen Stationen und verteilt leere Shuttles so, dass diese Nachfrage optimal befriedigt wird.
5. Alle Fahrten, die individuell und vollständig auf dem Gebiet der Hansestadt Hamburg durchgeführt wurden (abzüglich der Insel Neuwerk), werden berücksichtigt. Bei der Simulation werden dann die Fahrten als Requests behandelt, die an das Shuttle-System übergeben werden. Ein Pooling-Algorithmus sucht anschließend nach dem Shuttle, das diese Fahrt bestmöglich übernehmen kann. Dabei wird sichergestellt, dass die oben genannten Anforderungen an Umweg und Wartezeit für alle Passagiere an Bord eingehalten werden. Die Simulationen wurden so lange wiederholt, bis in jeder Stunde mindestens 95% aller Fahrten mit den vorgegebenen Qualitätskriterien durchgeführt werden konnten.

4.2 Ergebnisse

Die Stoßzeit liegt donnerstagsmorgens zwischen 7:00 und 8:00 Uhr – rund 1,3% aller Fahrten einer Woche finden in diesem Zeitfenster statt (vgl. Abbildung 3). Besonders auffällig ist, dass sich die Ziele dieser Fahrten mehrheitlich im Zentrum Hamburgs befinden (vgl. Abbildung 4). Insgesamt gibt es morgens eine Strömung aus den Randgebieten hin zur Innenstadt. Dies erzeugt ein Ungleichgewicht, das für die große Mehrheit der Leerfahrten verantwortlich ist, da Shuttles aus dem Zentrum ohne Passagiere an den Stadtrand fahren müssen, um die dortige Nachfrage abzufangen.

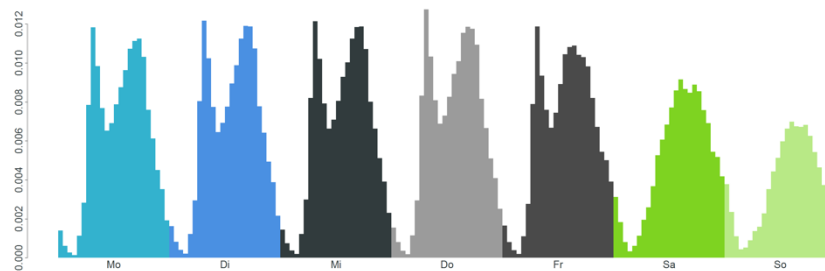


Abb. 3: Das anteilige Verkehrsaufkommen für jede Stunde der Woche in Hamburg



Abb. 4: Konzentration der Zielorte zu Stoßzeiten

Wie viele Shuttles zu welcher Uhrzeit nötig wären, um den motorisierten Individualverkehr zu ersetzen, wird in Abbildung 5 dargestellt. Der Maximalwert wird allerdings nicht donnerstagsmorgens erreicht, sondern

nachmittags: 20.000 Shuttles sind dann im Einsatz. Die Fahrten am Nachmittag sind zu dieser Zeit heterogener und lassen sich etwas schwieriger poolen. Mit einem Sicherheitspuffer für Ausfälle, Unwetter, etc. wären rund 22.000 Shuttles nötig, um alle innerstädtischen Fahrten abzudecken. Dies entspricht einer Reduktion der Fahrzeuge um rund 97% (hierbei ist zu beachten, dass für Fahrten von Hamburg ins Umland weiterhin Fahrzeuge bereitstehen müssten).

Um alle Fahrten (vgl. Abbildung 3) mit einem Shuttle-System abzudecken, wären pro Tag rund 9,7 Millionen Kilometer durch die Shuttles notwendig. Diese Zahl relativiert sich, wenn sie ins Verhältnis zur Einwohnerzahl Hamburgs gesetzt wird: Dann kommen auf jeden Einwohner rund 5,4 Shuttle-Kilometer. Die Verringerung der gefahrenen Kilometer fällt somit nicht so hoch aus wie die der benötigten Fahrzeuge, weil ein Shuttle pro Tag deutlich mehr Kilometer zurücklegt als ein Privatauto. Erzielt werden die Einsparungen vor allem zu den Hauptverkehrszeiten. In den mittleren Nachtstunden werden mit dem Shuttle-System dagegen sogar mehr Kilometer gefahren als im Ist-Zustand. Grund dafür ist die Kombination aus den Anfahrtswegen der Shuttles mit einem geringen Pooling-Faktor.

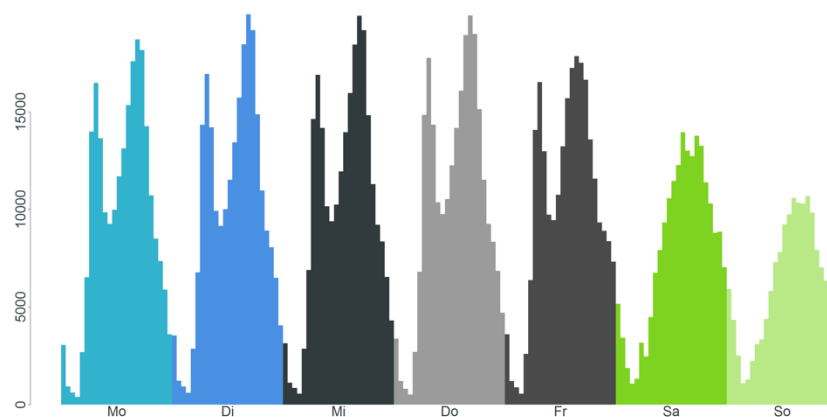


Abb. 5: Zahl der Shuttles auf den Straßen nach Stunde

Die durchschnittliche Service-Qualität ist dabei extrem hoch – unabhängig von der Tageszeit (vgl. Abbildung 6). Die Wartezeit beträgt im Durchschnitt 2:35 Minuten, für einen potentiellen Umweg werden rund 1:50 Minuten eingeplant. In Kapitel 5 werden diese Wartezeiten mit dem Ist-Zustand verglichen.

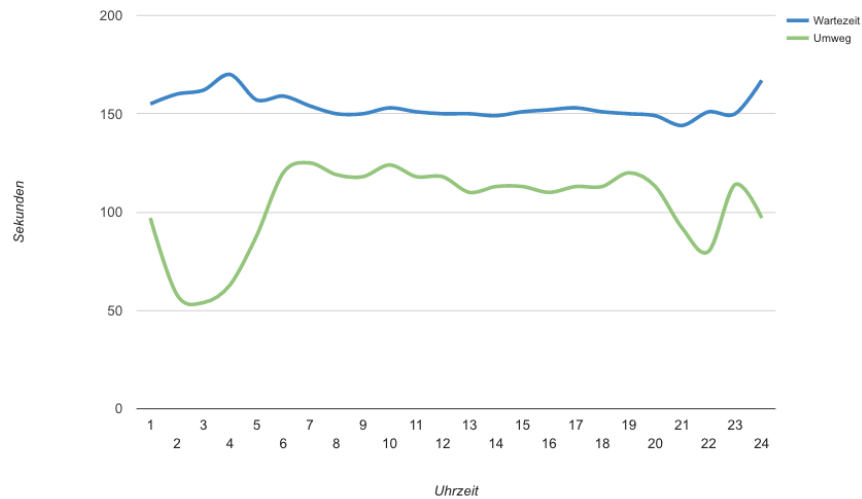


Abb. 6: Warte- und Umwegzeiten (am Beispiel eines Wochentags)

Die Shuttles sind rund 67% der Zeit mit Passagieren ausgelastet. 23% der Zeit befinden sie sich auf dem Weg zu einem Passagier; weitere 9% der Zeit werden aufgewandt, um sich zu einer aussichtsreicheren Position zu bewegen (Predictive Repositioning Algorithm). Deshalb ist die Standzeit vernachlässigbar gering – anstatt bis zu einer Bestellung am Straßenrand zu warten, sind die Shuttles unterwegs, um eine optimale Verteilung sicherzustellen (vgl. Abbildung 6). Auf dem Weg zur neuen Position werden die Shuttles dann im Regelfall an eine Haltestelle in Fahrtrichtung gerufen, um dort einen neuen Passagier aufzunehmen. In der Praxis bedeutet das, dass sie einen Teil des Wegs zu einem Passagier schon vor der Bestellung antizipieren.

Aus den Simulationen wurden weitere Erkenntnisse gewonnen:

1. Der Pooling-Faktor steigt mit der Zahl der Fahrten. Sind mehr Fahrten abzudecken, müssen mehr Shuttles eingesetzt werden. Dadurch ist das Netz an Shuttles dichter, sodass ein einzelnes Shuttle im Schnitt mehr Fahrten findet, die zur eigenen Route passen. Ein Shuttle-System wird daher mit mehr Fahrzeugen effizienter. Bei der Auswahl geeigneter Gebiete kann ein Shuttle-System jedoch auch in deutlich kleinerem Maßstab kostenneutral betrieben werden (siehe Kapitel 5).
2. Der Anteil an Leerfahrten kann bei höherem Nachfrage-Aufkommen reduziert werden: Bei einem dichteren Netz an Shuttles sinkt die durchschnittliche Anfahrtszeit. In der Praxis kann allerdings auch die Vorhersage, wo sich ein Shuttle für die nächste

Fahrt bereithalten sollte, bei höherem Fahrtaufkommen verbessert werden.

3. Wird das Geschäftsgebiet des Shuttle-Service verkleinert, steigt die Pooling-Qualität. Diese Erkenntnis ist speziell für ein Einstiegsszenario wertvoll, da mit besserem Pooling auch die Wirtschaftlichkeit erhöht wird.

5. Vorteile gegenüber dem heutigen Autoverkehr

Um die Effizienz eines Shuttle-Systems mit dem Ist-Zustand (gegenwärtiger Autoverkehr) vergleichen zu können, werden durchschnittliche Wegzeit sowie Gesamtkosten pro Kilometer untersucht.

Zunächst wird berücksichtigt, dass es im Shuttle-System aus zwei Gründen zu Verzögerungen kommt: Zum einen wegen Wartezeiten und Umwegen. Zum anderen ist das Shuttle-System in dieser Untersuchung haltestellenbasiert – es fallen also Fußwege vom eigentlichen Startpunkt der Fahrt zur ersten Haltestelle und von der Zielhaltestelle zum Endpunkt an.

Die Verzögerungen durch Wartezeiten und Umwege belaufen sich auf 4:25 Minuten (siehe Kapitel 4.2). Die Verzögerungen durch Wege zur und von der Haltestelle müssen hingegen abgeschätzt werden. Die Verzögerung durch Wartezeiten kann jedoch direkt mit dem Fußweg zur ersten Haltestelle verrechnet werden. Auch kann das Haltestellennetz ohne größere Probleme erweitert werden (siehe Kapitel 4.1). 5 Minuten für beide Wege insgesamt ist eine realistische Annahme; die Gesamtverzögerung liegt also bei etwa 9 Minuten.

Durch eine Reduktion der gefahrenen Kilometer um rund 61% sowie dem Wegfall der eingesetzten Fahrzeuge entfallen nahezu alle Staus. Damit

werden Stauzeiten im Shuttle-Szenario obsolet. Auffällig ist, dass die Stauzeiten bereits bei einer kleinen Reduktion des Verkehrsaufkommens deutlich sinken.²¹ Wenn die Zahl der Fahrten nur um knapp die Hälfte reduziert wird, geht die Staubelastung im abendlichen Berufsverkehr auf das Niveau von 10:00 Uhr vormittags zurück.

Bei einem haltestellenbasierten Shuttle-System kommt es also staufrei zu einer Gesamtverzögerung von durchschnittlich 9 Minuten. Im Vergleich zum heutigen Autoverkehr wird jedoch deutlich, dass der Zeitverlust durch Faktoren wie Stau und Parksuchverkehr weitaus höher ist.

Um die Stauzeiten abzuschätzen, wird auf den „TomTom Traffic Congestion Index“²² zurückgegriffen. Dieser gibt auf Basis der Daten des heutigen motorisierten Individualverkehrs im Schnitt eine für dieses Szenario berechnete zeitliche Verzögerung von 3:30 Minuten pro Fahrt durch Stau für Hamburg an. Zu den Hauptverkehrszeiten liegt die Verzögerung sogar bei 5:30 Minuten. Auch Daten des Verkehrsdatenanbieters Inrix beziehen sich auf höhere Stauzeiten.²³ 3:30 Minuten ist daher eine konservative Annahme.

Zusätzlich entfällt laut Schätzungen in Europa ein Drittel des innerstädtischen Verkehrsaufkommens auf die Parkplatzsuche.²⁴ Durchschnittlich verbringt ein Autofahrer rund 10 Minuten mit der Suche nach einem Parkplatz. Es ist davon auszugehen, dass die Wege vom eigentlichen Zielort vom und zum Parkplatz noch nicht mit eingerechnet sind, was die Parksuchzeit zusätzlich erhöht. Für die Parksuchzeit werden daher an die-

²¹ Vgl. Dept. of Global Studies & Geography Hofstra University New York (2016): The Geography of Transport Systems, <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/methods/highwaysfd.html> (Abruf: 08.11.2016)

²² Vgl. Silk (2016): Global Traffic Congestion Index, <http://global-traffic-congestion-index.silk.co/page/Hamburg> (Abruf: 08.11.2016)

²³ Vgl. Inrix (2015): Inrix 2015 Traffic Scorecard, <http://inrix.com/press/scorecard-de/> (Abruf: 01.11.2016)

²⁴ Vgl. Siemens (2015): Schluss mit der Parkplatzsuche, <http://www.siemens.com/press/pool/de/feature/2015/mobility/2015-02-smart-parking/hintergrundpapier-schluss-mit-der-parkplatzsuche-d.pdf> (Abruf: 01.11.2016)

ser Stelle dennoch 10 Minuten angenommen, um weiterhin vorsichtig abzuschätzen. Insgesamt ergibt sich also im Ist-Zustand des heutigen Autoverkehrs eine durchschnittliche Verzögerung von 13 Minuten pro Fahrt.

Dieser Zahl steht einer Verzögerung im Shuttle-System von rund 9 Minuten gegenüber. Unter Berücksichtigung der schwierigen Quellenlage lässt sich trotzdem festhalten, dass die durchschnittliche Verzögerung im Shuttle-System geringer ausfällt als die Verzögerung durch den aktuellen motorisierten Individualverkehr.

Darüber hinaus bietet das Shuttle System weitere Vorteile in Bezug auf Betriebskosten, Kilometerzahl, Flächenverbrauch sowie Umweltemissionen:

1. Rund 57% geringere Gesamtkosten pro Kilometer

In dieser Kalkulation wird davon ausgegangen, dass die Betriebskosten pro Kilometer mit dem Privat-PKW bei 50 Cent liegen.²⁵ Darin enthalten sind Spritkosten, Wartungskosten, Versicherung, Steuer, Abschreibungen und sonstige Kosten. Im innerstädtischen Bereich muss berücksichtigt werden, dass im Schnitt ein Drittel der Strecke für die Suche eines Parkplatzes aufgewendet wird. Bei einer Wegstrecke von 1,5 Kilometern entfallen somit 500 Meter auf die Parkplatzsuche, nur ein Kilometer auf die Tür-zu-Tür-Wegstrecke. So ergibt sich ein effektiver Kilometerpreis von durchschnittlich 75 Cent. Demgegenüber steht der Preis pro Kilometer des Shuttle-Systems mit 80 Cent, der sich aus 30 Cent Betriebskosten (Fahrzeug) und 50 Cent Personal- und Verwaltungskosten zusammensetzt. Dies ist eine konservative Schätzung, die sich an übliche Kostenmodelle von Flottenbetreibern, wie Taxigewerbe und ÖPNV-Betreibern anlehnt. Die höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten des Shuttles wurden hier nicht berücksichtigt (die es ermöglichen, die Lohnkosten pro Stunde auf eine höhere Kilometerzahl zu verteilen). Da ein Shuttle-Passagier-Kilometer durch Pooling im Schnitt rund 2,5 Kilometern mit dem eigenen Auto entspricht, verringern sich die Kosten für den Passagier auf 32,5 Cent pro Kilometer. Dies entspricht einer Kostenersparnis von rund 57% gegenüber dem privaten Fahrzeug.

²⁵ Vgl. ADAC (2016): ADAC Autokosten 2016 (Golf 1.4 TSI ACT BMT Comfortline DSG 7-Gang), https://www.adac.de/_mmm/pdf/autokostenuebersicht_sv_47089.pdf (Abruf: 08.11.2016)

2. **Rund 97% weniger Autos – deutlich reduzierter Flächenverbrauch**

Statt mit 740.000 zugelassenen Fahrzeugen²⁶ kann der innerstädtische Verkehr mit 22.000 Shuttles abgedeckt werden. Um diese Zahl am Beispiel der Hamburger Hafencity zu verdeutlichen: Dort stehen derzeit 26.000 Parkplätze zur Verfügung, um 100.000 Autofahrten pro Tag abzufangen. In einem Shuttle-Szenario wären dagegen – ohne Einschränkungen der Mobilität – nur noch 1.100 Parkplätze nötig (hierbei ist zu beachten, dass für Fahrten von Hamburg ins Umland weiterhin Fahrzeuge bereitgehalten werden müssten). Der geringere Flächenverbrauch wirkt sich außerdem positiv auf Wohn-, Lebensraum sowie Grünflächen aus.

3. **Geringerer CO₂-Ausstoß durch 61% weniger gefahrene Kilometer**

Dadurch, dass rund 61% weniger Kilometer gefahren werden, wird der CO₂-Ausstoß stark reduziert. Zudem herrscht weniger Stop-and-go-Verkehr (dafür eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit).

4. **Deutliche Lärmreduktion**

Die Hauptlärmquelle in Hamburg – der Straßenverkehr²⁷ – wird verringert: Durch besseren Verkehrsfluss muss weniger beschleunigt werden, darüber hinaus nimmt die Fahrzeugdichte ab.

5. **Weniger Feinstaubemissionen**

Besserer Verkehrsfluss und weniger gefahrene Kilometer bedeuten geringeren Brems- und Reifenabrieb sowie reduzierte Staubaufwirbelung von der Straßenoberfläche – beides Hauptverursacher von Feinstaub.

²⁶ Vgl. Nahverkehr Hamburg (2015): Statistikamt: Hamburger besitzen immer mehr Autos, <http://www.nahverkehrhamburg.de/statistikamt-hamburger-besitzen-immer-mehr-autos-3047> (Abruf: 27.10.2016)

²⁷ Vgl. Handelskammer Hamburg (2014): Stadtmobilität in Hamburg, S. 69, https://www.hk24.de/blob/hhihk24/produktmarken/interessenvertretung/wirtschaft-politik/wirtschaftspolitik/downloads/1153060/150421f8a1dc1bb8bfc368d3197cc2e1/Standpunkt_Stadtmobilitaet_in_Hamburg_2030-data.pdf (Abruf: 07.11.2016)

6. Resümee & Ausblick

Hamburg hat als zweitgrößte Stadt Deutschlands einen erhöhten Mobilitätsbedarf – 90% aller Einwohner sind täglich mobil. Dies stellt den Stadtverkehr vor enorme Herausforderungen. Auch der letzte Platz im bundesweiten Mobilitätsindex zeigt, dass dringender Handlungsbedarf besteht. Ein Shuttle-System bietet durch Kombination der Stärken von eigenem Auto und öffentlichem Nahverkehr ein neues, nachhaltiges Verkehrsmittel – mit positiven Auswirkungen auf Faktoren wie Verkehrsfluss, Komfort und Umwelt. Das Potential eines Shuttle-Systems wurde mit Verkehrsdaten der Stadt Hamburg untersucht.

Die Datenbasis der Simulation ist eine Origin-Destination-Matrix (O/D-Matrix) auf Stunden- und Postleitzahl-Niveau. Hierzu gehören rund 35 Millionen Fahrten, die komplett im Stadtgebiet zurückgelegt wurden. Kombiniert wurden die Daten mit demographischen Daten des Statistischen Amtes für Hamburg und Schleswig-Holstein sowie geographischen Daten der Open Street Map Database. Die verwendete Datenbasis unterscheidet sich von herkömmlich gewonnenen Daten vor allem im Umfang der Fahrten: sie ist ungefähr um den Faktor tausend größer und dementsprechend genauer – somit wird eine Hochrechnung aufgrund von Umfragen obsolet. Die Gesamtbetrachtung des Potentials eines Shuttle-Systems ist eher konservativ und enthält diverse Korrekturfaktoren.

Die Simulation führte zu folgenden Ergebnissen: Die absolute Stoßzeit liegt donnerstagmorgens zwischen 7:00 und 8:00 Uhr – rund 1,3% aller Fahrten einer Woche finden in diesem Zeitfenster statt. Mit einem Sicherheitspuffer wären rund 22.000 Shuttles nötig, um alle innerstädtischen Fahrten abzudecken. Dies entspricht einer Reduktion der Fahrzeuge um rund 97%. Die durchschnittliche Service-Qualität ist dabei – unabhängig von der Tageszeit – sehr hoch. Die Shuttles sind rund 67% der Zeit mit Passagieren ausgelastet. Zu 23% befinden sie sich auf dem Weg zu einem Passagier; weitere 9% der Zeit werden aufgewandt, um sich via „Predictive Repositioning Algorithm“ zu einer aussichtsreicheren Position zu bewegen. Zu Stoßzeiten sinkt die Zahl der gefahrenen Kilometer überproportional – der Pooling-Effekt kommt hier besonders zum Tragen.

Im Vergleich mit der aktuellen Verkehrssituation in Hamburg werden enorme Auswirkungen deutlich. Durch Stau und Parkplatzsuche kommt es im traditionellen Autoverkehr zu einer Verzögerung von rund 13 Minuten pro Fahrt. Ein haltestellenbasiertes Shuttle-System kann diesen Wert auf 9 Minuten senken – was zu kürzeren effektiven Wegzeiten führt. Durch Pooling, effizientere Fahrzeugnutzung und der Abschaffung des Parksuchverkehrs sinkt der durchschnittliche Preis pro Kilometer um 57%. Mit einem Shuttle-System sinkt die Zahl der benötigten Fahrzeuge um 97%, dadurch kann der parkraumbedingte Flächenverbrauch in Hamburg drastisch reduziert werden. Die gefahrenen Fahrzeugkilometer sinken bei einem Shuttle-System um fast zwei Drittel – dies führt zu einer deutlich besseren CO₂-Bilanz sowie erheblicher Reduktion von Lärm- und Feinstaubemissionen.

Die Vorzüge liegen also auf der Hand. Doch wie ist es möglich, ein solches Shuttle-System in der Realität umzusetzen? Nötig sind kleine Schritte. In dieser Studie wurde der gesamte motorisierte Individualverkehr durch ein Shuttle-System ersetzt. Ziel der Annahme war es, das volle Potential eines Shuttle-Services zu demonstrieren. Schon eine geringe Anzahl von Shuttles – beispielsweise 100 Fahrzeuge – kann kostenneutral dazu beitragen, die ÖPNV-Anbindung zu verbessern und die Verkehrsbelastung in deutschen Städten zu mindern.

Der weltweite Wandel des Mobilitätsmarkts ist bereits in vollem Gange; auch in Deutschland steigt die Zahl der dynamischen, bedarfsorientierten Mobilitätsangebote, die individuell auf gegenwärtige und zukünftige Kundenbedürfnisse eingehen. Deshalb ist es an der Zeit, dass Automobilkonzerne, Verkehrsunternehmen, Städte und Politik die Zukunft der Mobilität gemeinsam gestalten – unter Berücksichtigung der damit verbundenen grundlegenden Veränderung traditioneller Geschäftsmodelle.

Shuttle-Systeme können schon heute und in realisierbarem Maßstab dazu beitragen, den ÖPNV spürbar zu verbessern. Hinzu kommt, dass auf Basis verschiedener Datensätze die Verkehrsplanung auf ein völlig neues Level gebracht werden kann: Das Angebot wird ideal auf die entstehende Nachfrage zugeschnitten und kann in Echtzeit durch Hinzuziehung neuer Informationen optimiert und angepasst werden.

Zusätzlich ebnet ein Shuttle-System auch den Pfad für wichtige technologische Neuerungen. Shuttles sind ein idealer Anwendungsfall für Elektro-

mobilität: Alle Wege werden innerhalb einer Stadt zurückgelegt und Lade-Stationen sind immer in der Nähe. Gegenwärtige Reichweiten von über 300 Kilometern ermöglichen auch vollelektrisch betriebenen Shuttle-Fahrzeugen bei guter Organisation einen reibungslosen Betrieb. Gleichzeitig würden Umweltemissionen wie CO₂, Lärm und Feinstaub durch den Einsatz vollelektrischer Shuttle-Systeme weiter sinken (vgl. Kapitel 5).

Darüber hinaus wäre ein Shuttle-System – durchaus auch in kleinerem Maßstab – die ideale Ausgangssituation für autonom fahrende Fahrzeuge. Diese werden bereits im Testbetrieb in Singapur²⁸ und Pittsburgh²⁹ eingesetzt und werden die Mobilität in den kommenden Jahren massiv verändern. Ein Shuttle-System ermöglicht Städten und Verkehrsbetrieben schon heute, einen Teil der für selbstfahrende Autos notwendigen Infrastruktur zu entwickeln und wertvolles Know-how für zukünftige Mobilitätsangebote zu generieren.

Doch egal, ob heute oder zukünftig – eines ist sicher: Autos dürfen in einem modernen, nachhaltigen Mobilitätsmodell nicht mehr alleinig das Stadtbild definieren. Denn Mobilität bestimmt nicht nur die Art und Weise, wie wir von A nach B kommen. Sie prägt mehr denn je Lebensraum und Lebensqualität. Diese Studie zeigt, dass auf Basis bestehender Technologien und sinnvoller Datenanalyse der Stadtverkehr positiv beeinflusst werden kann. Dadurch lassen sich folgeschwere Probleme lösen und neue Freiräume für urbanes Leben schaffen.

²⁸ Vgl. The Wall Street Journal (2016): Grab Joins nuTonomy to Offer Self-Driving Taxis in Singapore, <http://www.wsj.com/articles/grab-joins-nutonomy-to-offer-self-driving-taxis-in-singapore-1474598345> (Abruf: 10.11.2016)

²⁹ Vgl. UBER (2016): Pittsburgh, your Self-Driving Uber is arriving now, <https://newsroom.uber.com/pittsburgh-self-driving-uber/> (Abruf: 10.11.2016)

Quellenverzeichnis

ADAC (2016): ADAC Autokosten 2016 (Golf 1.4 TSI ACT BMT Comfortline DSG 7-Gang), https://www.adac.de/_mmm/pdf/autokostenuebersicht_s-v_47089.pdf (Abruf: 08.11.2016)

Allianz pro Schiene e.V. (2015): Bundesländerindex Mobilität, S. 7, <https://www.allianz-pro-schiene.de/wp-content/uploads/2015/09/bundeslaenderindex-mobilitaet-2014-2015.pdf> (Abruf: 27.10.2016)

BITKOM (2013): 63 Millionen Handy-Besitzer in Deutschland, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/63-Millionen-Handy-Besitzer-in-Deutschland.html> (Abruf: 31.10.2016)

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2004): Mobilität in Deutschland 2002 – Ergebnisbericht, S. 92, http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/ergebnisbericht_mid_ende_144_punkte.pdf (Abruf: 01.11.2016)

Bundesnetzagentur (2016): Teilnehmerentwicklung im Mobilfunk, http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Marktbeobachtung/Deutschland/Mobilfunkteilnehmer/Mobilfunkteilnehmer_node.html (Abruf: 31.10.2016)

comobility.news (2016): Lasse Behrens, Marcel Amstutz, Sebastian Schuster, <http://comobility.news/lasse-behrens-marcel-amstutz-sebastian-schuster> (Abruf: 27.10.2016)

Dept. of Global Studies & Geography Hofstra University New York (2016): The Geography of Transport Systems, <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/methods/highwaysfd.html> (Abruf: 08.11.2016)

Freie und Hansestadt Hamburg – Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz (2014): Demografie-Konzept Hamburg 2030, S. 8, <http://www.hamburg.de/contentblob/4282416/data/download-demografiekonzept-hamburg2030.pdf> (Abruf: 27.10.2016)

Hamburger Hochbahn AG (2016): Geschichte, https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Unternehmen/Unser_Job_fuer_Hamburg/Geschichte (Abruf: 27.10.2016)

Hamburger Verkehrsverbund GmbH (2016): Der Hamburger Verkehrsverbund, S. 18, http://www.hvv.de/pdf/publikationen/hvv_unternehmensbroschuere.pdf (Abruf: 27.10.2016)

Hamburger Verkehrsverbund GmbH (2016): Der HVV – Übersicht, <http://www.hvv.de/ueber-uns/der-hvv/uebersicht/index.php> (Abruf: 27.10.2016)

Hamburger Wochenblatt (2016): Mehr Parkplätze für Carsharing in Hamburg, <http://www.hamburger-wochenblatt.de/barmbek/lokales/mehr-parkplaetze-fuer-carsharing-in-hamburg-d35653.html> (Abruf: 27.10.2016)

Handelskammer Hamburg (2014): Stadtmobilität in Hamburg, S. 69, https://www.hk24.de/blob/hhihk24/produktmarken/interessenvertretung/wirtschaftspolitik/wirtschaftspolitik/downloads/1153060/150421f8a1dc1bb8bfc368d3197cc2e1/Standpunkt_Stadtmobilitaet_in_Hamburg_2030-data.pdf (Abruf: 07.11.2016)

Inrix (2015): Inrix 2015 Traffic Scorecard, <http://inrix.com/press/scorecard-de/> (Abruf: 01.11.2016)

Institut für angewandte Sozialwissenschaft (2010): Mobilität in Deutschland 2008, S. 13, http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Kurzbericht_I.pdf (Abruf: 27.10.2016)

Institut für angewandte Sozialwissenschaft (2011): Mobilität im Großraum Hamburg/MiD 2008, S. 8, http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/Praesentation_MiD_Bericht_Region_HH_Regionalkonferenz_VerkehrMobilitaet.pdf (Abruf: 01.11.2016)

Nahverkehr Hamburg (2015): Statistikamt: Hamburger besitzen immer mehr Autos, <http://www.nahverkehrhamburg.de/statistikamt-hamburger-besitzen-immer-mehr-autos-3047> (Abruf: 27.10.2016)

Siemens (2015): Schluss mit der Parkplatzsuche, <http://www.siemens.com/press/pool/de/feature/2015/mobility/2015-02-smart-parking/hintergrundpapier-schluss-mit-der-parkplatzsuche-d.pdf> (Abruf: 01.11.2016)

Silk (2016): Global Traffic Congestion Index, <http://global-traffic-congestion-index.silk.co/page/Hamburg> (Abruf: 08.11.2016)

Stadt Hamburg (2016): Pilotprojekt soll Parkplatz-Knappheit verringern, www.hamburg.de/nachrichten-hamburg/7084644/pilotprojekt-soll-parkplatz-knappheit-verringern (Abruf: 20.10.2016)

Statista (2016): Umfrage in Deutschland zu Interesse an und Nutzung von Carsharing 2016, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/257867/umfrage/carsharing--interesse-und-nutzung-in-deutschland> (Abruf: 27.10.2016)

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig Holstein (2016): Zusammenstellung von Daten über Hamburg, <http://region.statistik-nord.de/compare/selection/2> (Abruf: 02.11.2016)

The Wall Street Journal (2016): Grab Joins nuTonomy to Offer Self-Driving Taxis in Singapore, <http://www.wsj.com/articles/grab-joins-nutonomy-to-offer-self-driving-taxis-in-singapore-1474598345> (Abruf: 10.11.2016)

U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration (2016): Shared Mobility – Current Practices And Guiding Principles, S. 27, <http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop16022/fhwahop16022.pdf> (Abruf: 01.11.2016)

UBER (2016): Pittsburgh, your Self-Driving Uber is arriving now, <https://newsroom.uber.com/pittsburgh-self-driving-uber/> (Abruf: 10.11.2016)

Utopia GmbH (2016): Ländervergleich: Wie viele Autos pro Kopf?, <https://utopia.de/0/galerie/laendervergleich-wie-viele-autos-pro-kopf/3> (Abruf: 27.10.2016)

Zukunft der Mobilität (2015): Datenbasierte Verkehrsplanung: Vom Papier-Erhebungsbogen zu Big Data, <http://www.zukunft-mobilitaet.net/103615/analyse/datenbasierte-verkehrsplanung-big-data-mobilfunkdaten-optimierung-trajektorien/> (Abruf: 14.11.2016)