



Wirkungsanalyse verschiedener Maßnahmen zur Strukturierung des Berliner Reisebusverkehrs mithilfe einer agentenbasierten Verkehrssimulation

Ricardo Ewert, Mustafa Anil Can Dizdar, Kai Nagel und Thomas Richter

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	310
1.1	Umfrage	311
2	Bestimmung der Anzahl an relevanten Busfahrten	311
3	Aufbau der Simulation	312
3.1	Tourstart	312
3.2	Anzahl der Ausstiege	313
3.3	Ausstiege während der Touren	313
3.4	Parken	314
3.5	Ende der Tour	315
3.6	Verhalten bei der Parkplatzsuche	315
4	Ausgestaltung der Parkplatzinfrastruktur für Reisebusse	317
4.1	Klassifizierung der Busparkplätze	318
4.2	Beseitigung von unwirtschaftlichen Halteflächen	319
4.3	Einrichtung von neuen Halteflächen	319
4.4	Modifizierte Busparkplatzinfrastruktur	319
5	Fallstudie	320
6	Ergebnisse	321
7	Fazit und Ausblick	324
	Literatur	325

R. Ewert (✉) · K. Nagel

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik, Berlin, Deutschland

E-Mail: ewert@vsp.tu-berlin.de

© Der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2025

H. Proff (Hrsg.), *New Players in Mobility*,

https://doi.org/10.1007/978-3-658-46485-1_20

1 Einführung

Der Reisebus ist, gemessen an den CO₂-Emissionen pro Passagierkilometer, ein eher umweltfreundliches Verkehrsmittel. Leerlaufende Motoren und lange Parkplatzsuchzeiten im urbanen Raum wirken sich jedoch negativ auf das ansonsten umweltfreundliche Profil dieses Verkehrsmittels aus. In Ermangelung einer koordinierten Reisebusstrategie, wie z. B. der Zuweisung von Parkplätzen und der Festlegung von Routen für Reisebusse, führt der unkoordinierte Reisebusverkehr zu Umweltverschmutzung und Lärm. Außerdem erhöht dies die Gefahr, dass der Reisebus ein Verkehrshindernis darstellt. Dies wiederum führt zu Konflikten zwischen Pendlern, Anwohnern und Bustouristen.

Ziel dieser Studie ist es daher, ein kohärentes Konzept für Reisebusse zu entwickeln, das darauf abzielt, die durch den Reisebusverkehr verursachte Umweltverschmutzung, Lärmbelästigung und Staus zu verringern und Konflikte zwischen den Beteiligten zu vermeiden. Im Rahmen dieser Studie wird eine Simulation entwickelt, um verschiedene Ansätze zur Organisation des Reisebusverkehrs in Berlin zu untersuchen. Die Simulation hilft, die Reduzierung der Emissionen (insbesondere CO₂-Emissionen) zu ermitteln und die Effizienz des touristischen Verkehrs für die Busunternehmen zu steigern.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass sich diese Arbeit nicht auf den Reisebusverkehr im Allgemeinen konzentriert, sondern vielmehr ineffiziente Betriebsstrukturen, wie z. B. unnötige Fahrten zur Parkplatzsuche, identifiziert und anschließend Maßnahmen zu deren Vermeidung bewertet. Daher werden in dieser Studie die Auswirkungen der Einführung einer Busparkplatzklassifizierung durch die Identifizierung verschiedener Parkkategorien untersucht. In dieser Studie wird dabei nur der touristische Busverkehr des Gelegenheitsverkehrs untersucht, der mindestens einen Ausstieg der Fahrgäste während einer Tour hat. Dies bedeutet, dass der öffentliche Nahverkehr, der Fernbusverkehr und der Gelegenheitsverkehr ohne Ausstieg in dieser Studie nicht berücksichtigt werden.

K. Nagel

E-Mail: nagel@vsp.tu-berlin.de

M. A. C. Dizdar · T. Richter

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb, Berlin, Deutschland

E-Mail: dizdar@tu-berlin.de

T. Richter

E-Mail: t.richter@spb.tu-berlin.de

1.1 Umfrage

Um einen Eindruck von der Problematik zu gewinnen und zusätzlich einen Überblick über die typischen Abläufe einer Bustour zu gewinnen, wurde im Rahmen des Projektes eine Umfrage durchgeführt. Diese wurde mit der Unterstützung der IHK Berlin unter Busfahrern und Busunternehmen verteilt. Insgesamt konnten dadurch 111 Teilnehmer*innen gewonnen werden. Die vollständigen Auswertungen sind in Ewert et al. (2023) einsehbar.

2 Bestimmung der Anzahl an relevanten Busfahrten

Für die Untersuchung der in dieser Studie adressierten Problemstellung ist es nicht nötig, den relevanten Busverkehr genauer zu beschreiben und anschließend zu simulieren. Deshalb wird zunächst die Anzahl der relevanten Touren pro Tag bestimmt. Da sich der Projektfokus auf die Betriebsstrukturen während der Parkplatzsuche während einer Tour konzentriert, simulieren wir nur Touren, die davon betroffen sind. Bei touristischen Touren des Gelegenheitsverkehrs nach Berlin berücksichtigen wir lediglich den Streckenabschnitt innerhalb der Stadt. Da der Anteil dieser Fahrten am Gelegenheitsverkehr in Berlin unbekannt ist, behandeln wir sie in der Simulation wie reguläre Touren mit Startpunkt in Berlin.

Um abschätzen zu können, wie viele Touren in Berlin pro Tag durchschnittlich dem Gelegenheitsverkehr durchgeführt werden, wurden die Auswertungen des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg (2020) verwendet. Demnach hatte der Gelegenheitsverkehr im Jahr 2019 4.116.000 Fahrgäste. Ausgehend von der Annahme, dass eine mögliche Umsetzung des Konzeptes der Umstrukturierung einige Jahre in Anspruch nehmen würde, wurde eine Prognose der Fahrgastzahlen bis 2030 vorgenommen. Außerdem wird angenommen, dass 2023 das Aufkommen von 2019 (Vor-Corona-Niveau) wieder erreicht wird, und im Anschluss die Übernachtungszahlen in dem gleichen Maß von 3,53 % p. a. bis 2030 wachsen werden (Tourismus in Zahlen, 2023). Dies führt zu einer erwarteten Fahrgastzahl von 5.068.421 im Jahr 2030. Ausgehend von der Verwendung eines typischen Reisebusses mit 50 Sitzplätzen und eine aus der in Abschn. 1.1 beschriebenen Umfrage bestimmten durchschnittlichen Sitzplatzauslastung von 70 % ergibt sich eine jährliche Anzahl von 144.812 Bussen. Bei einer gleichmäßigen Verteilung über das Jahr ergeben sich durchschnittlich 397 Touren pro Tag. Zudem wurde in der Umfrage erfasst, dass ca. 40 % der durchgeführten Touren keinen Ausstieg,

während der Touren haben und somit für diese Studie nicht relevant sind. Damit reduziert sich die Anzahl der durchschnittlichen Touren mit Ausstieg pro Tag auf 239. Somit wird im weiteren Verlauf der Studie eine tägliche Anzahl an Touren von 239 angenommen.

3 Aufbau der Simulation

Um die Maßnahmen der Strukturierung des Berliner Reisebusverkehrs zu bewerten, wird eine Simulation zur Abbildung der relevanten Verkehre erstellt. Da eine solche Simulation bisher nicht existiert, muss diese von Grund auf hergeleitet werden. Als Simulationssoftware wird das Tool MATSim («Multi-Agent Transport Simulation») (Horni et al., 2016) verwendet. Diese Software ist eine agentenbasierte Verkehrssimulation. Das bedeutet, dass jede Simulationskomponente wie Personen, Fahrzeuge, aber auch Straßen und Kreuzungen durch ein synthetisches Element dargestellt werden. Die Personen, auch Agenten genannt, haben bestimmte Eigenschaften und zusätzlich einen individuellen Tagesplan, der auf Aktivitäten basiert, z. B. „zu Hause – Arbeit – Einkaufen – zu Hause“. Jede dieser Aktivitäten wird durch bestimmte Eigenschaften, wie Ort, Zeit und Dauer beschrieben. Folglich müssen alle Agenten die Wege zwischen ihren Aktivitäten mit einem der zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel zurücklegen. Im Rahmen dieser Arbeit wird jeder Bus durch einen Agenten repräsentiert. Jeder Bus hat somit einen individuellen Plan, der wie folgt aussehen kann: „Tourstart – Ausstieg an Attraktion – Parken – Einstieg an Attraktion – Tourende“. Außerdem wird bei dieser Studie angenommen, dass ausschließlich die Busse genutzt werden und keine alternativen Verkehrsmittel wie Fahrräder oder öffentliche Verkehrsmittel zur Verfügung stehen.

Davon ausgehend ist es notwendig für jeden Bus einen individuellen Tagesplan zu erstellen, sodass die Summe aller einzelnen Pläne der Busse dann die Gesamtheit der Fahrten des Gelegenheitsverkehrs mit Ausstieg abbildet. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Tourenbildung kurz beschrieben. Detaillierte Angaben zur Funktionsweise der Simulation und ausführlichere Beschreibungen der Herleitung können (Ewert & Nagel, 2023) entnommen werden.

3.1 Tourstart

In der Simulation beginnt jede der betrachteten Touren an einem Hotel, an dem die Fahrgäste einsteigen. Es gibt keine zusätzlichen Einstiegspunkte zu Beginn

einer Tour. Diese Annahme wird durch die Umfrage gestützt, in der angegeben wurde, dass etwa 90 % der Touren an einem Hotel beginnen. Die Standorte aller Hotels in Berlin wurden aus OpenStreetMap (OSM) (OpenStreetMap, 2023) generiert und als Liste möglicher Standorte für Tourstarts in die Simulation integriert.

Um sicherzustellen, dass die Standorte der Tourstarts eine möglichst realitätsnahe Nachfrage widerspiegeln, verwenden wir die Übernachtungsstatistik für die Berliner Bezirke aus dem Jahr 2019 (Berlin Tourismus & Kongress GmbH, 2023). Dabei werden die Angaben zu den Ankünften und nicht die Gesamtzahl der Übernachtungen verwendet, da davon ausgegangen wird, dass jeder Gast unabhängig von der Dauer seines Aufenthalts nur eine Tour unternimmt. Ausgehend von dieser prozentualen Verteilung der Gäste nach Bezirken werden auch die Startpunkte aller Touren innerhalb Berlins verteilt. So befinden sich z. B. ca. 43 % der Hotels für Tourstarts in der Simulation im Bezirk Mitte, da der Anteil der Gäste in Hotels in Mitte ebenfalls 43 % beträgt. Innerhalb der Bezirke wird dann ein zufälliges Hotel ausgewählt, da keine individuellen Hoteldaten, wie z. B. die Anzahl der Betten, vorliegen. Die Dauer dieses Einstiegs ist auf 15 min festgelegt.

3.2 Anzahl der Ausstiege

Da der Schwerpunkt der Arbeit auf der Untersuchung von Touren mit Ausstiegen liegt, muss ermittelt werden, wie viele Ausstiege jede Tour hat. Dies geschieht auf der Grundlage der Erkenntnisse aus der durchgeführten Umfrage (vgl. Abschn. 1.1). Auf der Grundlage dieser Ergebnisse konnte eine prozentuale Verteilung der Touren mit unterschiedlicher Anzahl von Stopps berechnet werden (vgl. Tab. 1). Es zeigt sich beispielsweise, dass 26 % der Touren zwei Stopps haben, wobei der Durchschnitt bei 3,13 Stopps pro Tour liegt. Diese aus der Umfrage gewonnene Verteilung wird bei der Erstellung der Touren entsprechend berücksichtigt.

Ausgehend von der Anzahl der Haltestellen für jede Tour werden die folgenden Elemente der Tagespläne (Abschn. 3.3 und 3.4) entsprechend wiederholt.

3.3 Ausstiege während der Touren

Die Standorte dieser Attraktionen werden analog zu den Hotelstandorten aus OSM generiert. Zu diesen Attraktionen gehören u. a. Museen und Sehenswürdig-

Tab. 1 Resultierende Verteilung der Anzahl der Stopps pro Tour

Anzahl an Stopps pro Tour	0	1	2	3	4	5	<i>n</i>
Anteil	–	5 %	26 %	37 %	15 %	17 %	3,13

keiten wie der Fernsehturm oder der Zoo. Die Verteilung der Standorte für die Attraktionen erfolgt auf Basis von Mobilfunkdaten, die freundlicherweise von visit-Berlin (o. J.) zur Verfügung gestellt wurden (vgl. Abb. 1). Diese Daten enthalten den Anteil der touristischen Aktivitäten für ein bestimmtes Gebiet im Vergleich zu den gesamten touristischen Aktivitäten in Berlin. Im Rahmen der Simulation wird ein Hotspot für diesen Halt mit einer entsprechenden Wahrscheinlichkeit ausgewählt.

Zusätzlich wurden für diese Arbeit 4 verschiedene Stopp-Typen festgelegt: Besuch einer Attraktion, Fotostopp, Verpflegung und Rundgang zu Fuß. Mithilfe der Umfrage konnte eine Verteilung der Häufigkeiten des entsprechenden Typs und zusätzlich zu jedem Typ auch eine Verteilung der Dauern dieser Stopps ermittelt werden. Aus den Einzelverteilungen der Haltestellendauern wird dann die Dauer jedes einzelnen Stopps ermittelt, sodass in der Summe aller Touren die Verteilungen der Stopp-Typen und ihrer zugehörigen Aufenthaltsdauern in der Simulation genau abgebildet werden.

Aus Gesprächen mit Busunternehmen wurde deutlich, dass die Fahrgastausstiege in der Regel direkt vor der Attraktion erfolgen, auch wenn dabei möglicherweise gegen Verkehrsvorschriften verstoßen wird. Die Fahrgastausstiege erfolgen in der Simulation daher an der einer Attraktion nächstgelegenen Straße.

3.4 Parken

Gemäß den Annahmen in dieser Arbeit sucht der Busfahrer nach dem Aussteigen der Fahrgäste einen Parkplatz. Das Verhalten bei der Parkplatzsuche ist dabei ein entscheidender Faktor. Allerdings wird das Parkverhalten bei der Erstellung der Tagespläne nicht berücksichtigt, da in dieser Phase noch kein Parkplatz definiert wird. Dies geschieht erst innerhalb der Simulation, wenn in Abhängigkeit der aktuellen Parkplatzbelegung ein Parkplatz ausgewählt wird. Daher wird in dieser Phase auch noch keine konkrete Parkdauer festgelegt. Diese ergibt sich in der Simulation aus der Dauer der Parkplatzsuche und dem einzuhaltenden Abholzeitpunkt der Fahrgäste. Die verschiedenen Parkstrategien werden in Abschn. 3.6 im Detail beschrieben.

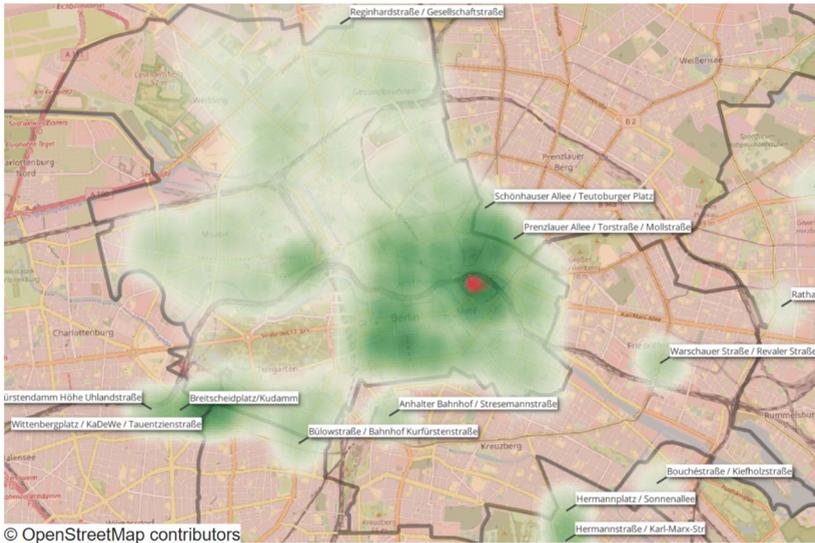


Abb. 1 Visualisierung der verfügbaren Hotspot-Daten (nur Stadtzentrum), Datenquelle: (visitBerlin, o. J.)

3.5 Ende der Tour

Das Ende der Tour findet in demselben Hotel statt, in dem die Tour begann. Die Dauer dieses Prozesses ist auf 15 min festgelegt. Nachdem die Fahrgäste ausgestiegen sind, endet auch die Busfahrt an diesem Ort. Es wird also keine Fahrt zu einem möglichen Depot und somit auch kein Übernachtenparken simuliert.

3.6 Verhalten bei der Parkplatzsuche

In diesem Abschnitt werden die Konfigurationen für die Parkplatzsuche der Busfahrer in der Simulation kurz beschrieben.

3.6.1 Kapazitätserkennung

Diese Funktionalität bezieht sich darauf, ob der Busfahrer unmittelbar Informationen über freie Parkkapazitäten erhalten kann. Eine geeignete Implementierung hierfür wäre eine mobile Anwendung (App), die Echtzeitdaten über die

Verfügbarkeit von Parkplätzen liefert. Mit dieser Option kann der Busfahrer die Wahrscheinlichkeit verringern, einen belegten Parkplatz anzufahren. Theoretisch könnte der Parkplatz bei der Ankunft jedoch immer noch belegt sein, wenn ein anderer Bus dort in der Zwischenzeit geparkt hat. Echtzeitdaten können dazu beitragen, die Wahrscheinlichkeit, auf einen besetzten Parkplatz zu stoßen, zu minimieren, aber sie können aufgrund der dynamischen Veränderungen der Parksituation nicht garantieren, dass jederzeit ein Parkplatz verfügbar ist.

3.6.2 Parkplatzreservierung

Wenn der Busfahrer einen freien Parkplatz reservieren kann, entfällt die Gefahr, dass der Bus einen Parkplatz anfährt, der bei seiner Ankunft dann durch einen anderen Bus belegt ist. Ein reservierter Parkplatz wird immer frei sein und nicht von anderen Bussen belegt werden. In der Simulation wird von einer vollständigen Einhaltung dieser Annahme ausgegangen, d. h., wenn ein Parkplatz einmal reserviert ist, bleibt er für den betreffenden Bus verfügbar und wird während der Simulation nicht an andere Busse vergeben.

3.6.3 Verhalten bei der Parkplatzsuche

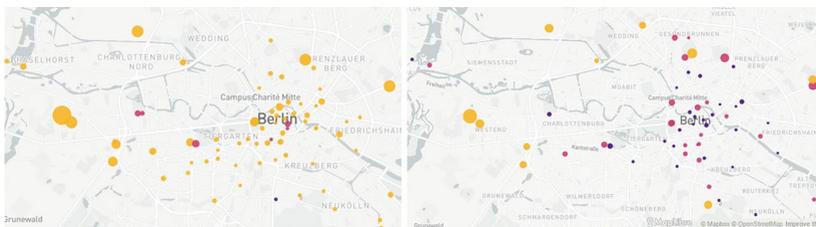
Auf der Grundlage der verfügbaren Parkplätze kann der Busfahrer einen möglichen Parkplatz auswählen. Es wird davon ausgegangen, dass der Busfahrer ausschließlich aus den verfügbaren Busparkplätzen auswählt und keine anderen Parkmöglichkeiten nutzt (z. B. Parken in der zweiten Reihe, Verstöße gegen Parkverbote oder im Kreis fahren). Außerdem werden keine persönlichen Erfahrungen oder Vorlieben des Busfahrers in die Simulationen einbezogen (z. B. die Wahl eines Parkplatzes aufgrund von Erfahrungen, wo er normalerweise einen Platz findet).

Die grundlegende Strategie besteht darin, dass der Busfahrer den nächstgelegenen, verfügbaren Parkplatz zum Parken auswählt. Gemäß der Simulation ist der nächstgelegene Parkplatz derjenige mit der geringsten erwarteten Fahrzeit vom aktuellen Standort zum Parkplatz und wieder zurück zum Ausstiegsort der Fahrgäste. Je nach Konfiguration der Parkkapazitätserkennung und der Option zur Parkplatzreservierung kann dies zu einer anderen Parkplatzauswahl führen. Ohne beide Optionen wählt der Busfahrer beispielsweise den nächstgelegenen Parkplatz aus allen verfügbaren Plätzen, während er mit der Option der Kapazitätserkennung den nächstgelegenen noch freien Parkplatz auswählt.

4 Ausgestaltung der Parkplatzinfrastruktur für Reisebusse

Ausgangspunkt für die Klassifizierung der Stellplätze ist die bestehende Busparkinfrastruktur in Berlin, die im aktuellen BusStop-Plan (2016) dargestellt ist. Diese Infrastruktur ist in Abb. 2a dargestellt. Sie ist gekennzeichnet durch eine große Anzahl von Parkplätzen mit geringen Kapazitäten (1–2 Stellplätze) und einer geringen Anzahl von Parkplätzen mit einer Parkzeitbegrenzung. Aufgrund des dezentralen Angebots mit teilweise geringer Kapazität besteht bei dieser Gestaltung die Gefahr, dass Busse auf einen bereits belegten Parkplatz fahren und die Busfahrer im Anschluss ihre Suche fortsetzen müssen. Diese Situation war der Ausgangspunkt für die Schaffung der neuen Parkinfrastruktur. Dabei ist zu beachten, dass die Umgestaltung der Parkplatzinfrastruktur nur für den Input der Simulation durchgeführt wurde und keine realen Veränderungen im Rahmen dieses Projektes durchgeführt wurden.

Hauptziel dieser Studie ist es, die Suchzeit nach Parkplätzen zu reduzieren und eine effiziente Nutzung der Parkplätze zu gewährleisten. Um dies zu erreichen, werden alle Busparkplätze nach ihrer Nutzung klassifiziert. Das bedeutet, dass Parkplätze, die sich in der Nähe einer Touristenattraktion befinden, nicht für Langzeitparken genutzt werden sollten, damit die Kapazität für den Ein- /Ausstieg der Fahrgäste zur Verfügung steht. Aus diesem Grund werden drei verschiedene Arten der Nutzung eines Busparkplatzes eingeführt, die zu den drei Kategorien **Drop-Off-Parkplatz**, **Kurzzeitparkplatz** und **Langzeitparkplatz** führen.



(a) Vorhandene Busparkplätze in Berlin, 2016

(b) Modifizierte Busparkplatzinfrastruktur

Abb. 2 Vergleich der bestehenden und geänderten Busparkinfrastruktur in Berlin. Bei den gelben Parkplätzen handelt es sich um Langzeitparkplätze (ohne Haltezeitbeschränkung), bei den roten Parkplätzen um Kurzzeitparkplätze und bei den violetten Parkplätzen um Drop-Off-Parkplätze. Der Kreisradius gibt die Kapazität eines Parkplatzes an. (Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung der Software SimWrapper (Charlton & Sana, 2023))

4.1 Klassifizierung der Busparkplätze

Grundlage für die Zuordnung der verschiedenen Parkkategorien sind die zur Verfügung gestellten Mobilfunkdaten (vgl. Abb. 1). Diese Daten enthalten den Anteil der touristischen Aktivitäten für verschiedene Bereiche, verglichen mit den gesamten touristischen Aktivitäten in Berlin. Basierend auf den Intensitäten der touristischen Aktivitäten werden die Busparkplätze einer der Kategorien zugeordnet. Im Folgenden werden die verschiedenen Kategorien der Parkplätze kurz beschrieben.

Drop-Off Parkplätze sind Parkplätze, die sich in unmittelbarer Nähe zu einer touristischen Attraktion mit einer hohen Intensität an touristischen Aktivitäten befinden. Diese Busparkplätze werden nur zum Ein- und Aussteigen von Fahrgästen und für kurze Haltezeiten von bis zu 30 min genutzt. Hinsichtlich der Umsetzung in der Simulation zu beachten, dass für jeden Ein- und Ausstiegsvorgang 15 min angenommen werden. In Anbetracht der Tatsache, dass die verfügbare Fläche in Berlin, insbesondere im innerstädtischen Bereich, begrenzt ist, wird eine durchschnittliche Entfernung von 300 m – 400 m Fußweg zwischen einem Ausstiegspunkt und einer Attraktion als machbar und für die Besucher als akzeptabel angenommen.

Langzeitparkplätze sind Parkplätze, die sich außerhalb des Stadtzentrums befinden und zum Langzeitparken genutzt werden. Die Idee ist, dass die Fahrgäste den Bus an den Sehenswürdigkeiten verlassen und der Bus schließlich einen Dauerparkplatz ansteuert, wenn die geplante Aufenthaltszeit auf dem Parkplatz 2 h überschreitet. Ein wichtiges Merkmal eines Langzeitparkplatzes ist die Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz, um dem Busfahrer eine problemlose Weiterreise zu ermöglichen. Außerdem ist zu beachten, dass die Entfernung zwischen der Attraktion und dem Langzeitparkplatz für die Fahrgäste nicht relevant ist, da sie den Bus an der Ausstiegsstelle verlassen.

Kurzzeitparkplätze sind Parkplätze für einen kurzen Aufenthalt von bis zu 2 h. Bei der Ermittlung der Kurzzeitparkplätze wird berücksichtigt, dass sich die Standorte überwiegend an Orten mit mittlerer Tourismusintensität befinden und somit keine hochfrequentierten Sehenswürdigkeiten in unmittelbarer Nähe liegen. Außerdem sind die Kurzzeitparkplätze so gewählt, dass alle Drop-Off-Parkplätze maximal 4 km von einem Kurzzeitparkplatz entfernt sind.

4.2 Beseitigung von unwirtschaftlichen Halteflächen

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurden alle vorhandenen Parkplätze einzeln nach dem BusStop-Plan in Bezug auf ihre Nähe zu einer touristischen Attraktion bewertet. Es wird davon ausgegangen, dass Stellplätze, die außerhalb der Stadt liegen und eine Kapazität von weniger als vier Busse haben und nicht in der Nähe einer touristischen Attraktion liegen, generell unwirtschaftlich sind. Hintergrund ist insbesondere, dass im Rahmen einer möglichen digitalen Stellplatzbuchung die Kosten für wenig genutzte Stellplätze hoch sind und der zu erwartende Nutzen eher gering ist. Insgesamt fallen auf diese Weise 41 Parkplätze mit 103 Stellplätzen weg.

4.3 Einrichtung von neuen Halteflächen

Um die wegfallende Parkkapazität zu kompensieren, wurden neue Parkplätze geschaffen. Bei den neu geschaffenen Parkplätzen handelt es sich entweder um Langzeitparkplätze oder um Kurzzeitparkplätze. Bei den geschaffenen Dauerparkplätzen wurde darauf geachtet, dass die Anzahl der Stellplätze an diesem Standort ausreichend ist und die Stellplätze gut erreichbar sind. Die Zuordnung der neuen Stellplätze zu den verschiedenen Kategorien basiert auf der Beschreibung in Abschn. 4.1. Die Kapazität eines neuen Stellplatzes wurde anhand der durchschnittlichen Länge eines Reisebusses von 15 m und der Länge der Straße, an der der neue Stellplatz liegt, berechnet. Insgesamt wurden 10 neue Parkplätze mit 180 Stellplätzen geschaffen.

4.4 Modifizierte Busparkplatzinfrastruktur

Das Ergebnis der Klassifizierung der Stellplätze ist in Abb. 2 und Tab. 2 dargestellt. Im Vergleich zur bestehenden Infrastruktur hat sich die Anzahl der Parkplätze um 30 % von 98 auf 69 verringert. Allerdings wurde die Gesamtzahl der Stellplätze an diesen Standorten von 607 auf 690 erweitert.

Tab. 2 Übersicht über die vorhandene und modifizierte Parkplatzinfrastruktur für Busse in Berlin

	Vorhandene Infrastruktur				Modifizierte Infrastruktur			
	Drop-Off	Kurzzeit	Langzeit	Σ	Drop-Off	Kurzzeit	Langzeit	Σ
Parkplätze (existierend)	—	7	91	98	33	16	8	57
Stellflächen (existierend)	—	34	573	607	125	189	196	510
Parkplätze (neu)	—	—	—	—	—	6	4	10
Stellflächen (neu)	—	—	—	—	—	68	112	180
Summe Parkplätze	—	7	91	98	33	24	12	69
Summe Stellflächen	—	34	573	607	125	257	308	690

5 Fallstudie

In dieser Studie werden die ersten Szenarien der Arbeit von Ewert und Nagel (2023) erweitert, indem die Auswirkungen der Klassifizierung der Parkplätze zusammen mit einem Reservierungssystem untersucht werden. Dazu werden die Simulationsergebnisse des Basisfalls mit den Ergebnissen der in Abschn. 4 beschriebenen Veränderungen an der Parkplatzinfrastruktur verglichen.

Zusätzlich wird angenommen, dass die Neuordnung der Parkinfrastruktur zur Folge hat, dass das Ein- und Aussteigen während der Tour nur noch auf Busparkplätzen stattfindet. Der Grund dafür ist, eine sicherere und geordnetere Verhältnisse während des Ausstiegs zu schaffen. Dies ist ein wichtiger Unterschied zum Basisfall, der die derzeitige Situation darstellt, dass die Busse unkoordiniert und ohne entsprechende Infrastruktur am Straßenrand halten, um die Fahrgäste aussteigen zu lassen. In dieser Studie wird daher versucht, dies zu verhindern, indem die Drop-Off-Parkplätze festgelegt werden. Somit kann ein Ein- oder Ausstieg nur noch an einem Parkplatz erfolgen. Eine weitere Annahme für die Simulation ist, dass der Bus an dem der Attraktion nächstgelegenen Drop-Off Punkt wartet,

bis ein Platz frei wird. Dies hat zur Folge, dass der Bus bei einer längeren Belegung des Drop-Off Parkplatzes warten muss und die Fahrgäste den Bus nicht verlassen können. Um die Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen zu untersuchen, haben wir verschiedene Szenarien erstellt. Sie sind unterteilt in den Basisfall, Einzelmaßnahmen und Szenarien. Die Einzelmaßnahmen sollen helfen, die einzelnen Auswirkungen der Maßnahmen zu differenzieren, die in Szenario 1 kombiniert werden.

Im Folgenden werden die einzelnen Szenarien kurz beschrieben und die relevanten Unterschiede durch die Markierung kenntlich gemacht.

Basis-Fall: Derzeitige Situation in Berlin

- Der Ausstieg der Fahrgäste erfolgt am Straßenrand in direkter Nähe zur Attraktion
- Derzeitige Parkplatzinfrastruktur
- Der Busfahrer hat keine Informationen über freie Parkplätze

Maßnahme 1:

- **Der Bus hält zum Ein- und Ausstieg ausschließlich an dafür vorgesehenen Halteflächen**
- Derzeitige Parkplatzinfrastruktur
- Der Busfahrer hat keine Informationen über freie Parkplätze

Szenario 1:

- **Der Bus hält zum Ein- und Ausstieg ausschließlich an dafür vorgesehenen Halteflächen**
- **Modifizierte Parkplatzinfrastruktur**
- Der Busfahrer hat keine Informationen über freie Parkplätze

Maßnahme 2:

- Der Ausstieg der Fahrgäste erfolgt am Straßenrand in direkter Nähe zur Attraktion
- **Modifizierte Parkplatzinfrastruktur**
- Der Busfahrer hat keine Informationen über freie Parkplätze

Szenario 2+3:

- **Der Ausstieg der Fahrgäste erfolgt am Straßenrand in direkter Nähe zur Attraktion**
- **Modifizierte Parkplatzinfrastruktur**
- **Der Busfahrer kann einen freien Parkplatz reservieren**

6 Ergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse bei der Simulation von 239 Touren sind in Tab. 3 als Durchschnittswerte pro Tour dargestellt. Weitere Ergebnisse, Visualisierungen und Analysen finden Sie auf unserer Website (Ewert, 2023).

Die Simulationsergebnisse können zu den folgenden Ergebnissen zusammengefasst werden:

• **Der Ein- und Ausstieg ausschließlich auf Busparkplätzen erfordert eine Klassifizierung der Busparkplätze** (Maßnahme 1)

Die Ergebnisse zeigen, dass unter der Annahme, dass die Fahrgäste nur an den Busparkplätzen aussteigen, die Wartezeiten auf einen freien Parkplatz zu lang sind. Die Wartezeit ist das Ergebnis der Simulation. So wird z. B. angenommen, dass sich alle Busfahrer an die Regeln halten und die Fahrgäste nur an freien Parkplätzen aussteigen lassen. Es wird auch angenommen, dass der Bus nicht alternativ einen weiter entfernten Parkplatz ansteuert, da er den Fußweg so kurz wie möglich halten möchte. Das Ergebnis ist, dass ein Bus an einem Parkplatz wartet, bis ein Stellplatz frei wird. In der Simulation ergibt sich daraus eine durchschnittliche Wartezeit von 08:12 h pro Tour. Dieser Wert wäre in der Realität nicht zu beobachten. Die Konsequenz wäre jedoch, dass die Busfahrer die Fahrgäste trotzdem außerhalb der Busparkplätze aussteigen lassen würden, was wiederum regelwidrig ist und vermieden werden sollte. Der Grund für die langen Wartezeiten für ankommende Busse liegt darin, dass die Busse auch direkt auf den Parkplätzen parken können und es somit für andere

Tab. 3 Simulationsergebnisse für die verschiedenen Szenarien. Die Ergebnisse sind als Durchschnittswerte pro Tour angegeben. Die Prozentwerte in Klammern geben die Differenz zum Basisszenario an. Leerfahrten sind Fahrten ohne Fahrgäste nach einem Ausstieg. Die Parkplatzsuchdistanz ist die Distanz zwischen dem Ausstieg und dem erfolgreichen Finden eines Parkplatzes. Die Wartezeit ist die Zeit, die der Bus warten muss, um einen freien Parkplatz zum Ein- oder Aussteigen zu bekommen

		Basis Fall	Maßnahme		Szenario		
			1	2	1	2	3
Fahrstrecke	(km)	36,6	28,6 (-22 %)	35,8 (-2 %)	32,1 (-12 %)	31,4 (-14 %)	31,3 (-14 %)
Strecke Leerfahrten	(km)	9,7	2,0 (-79 %)	8,9 (-8 %)	4,9 (-49 %)	4,3 (-56 %)	4,1 (-57 %)
Strecke Parkplatzsuche	(km)	5,1	1,2 (-76 %)	4,1 (-19 %)	2,6 (-48 %)	2,1 (-59 %)	2,0 (-60 %)
Dauer Wartezeit	(hh:mm)	00:00	08:12	00:00	00:29	01:01	00:02
Dauer Parkplatzsuche pro Stopp	(min)	4,9	160 (+3168 %)	4,3 (-12 %)	13,6 (+180 %)	23,5 (+382 %)	4,2 (-14 %)
CO ₂ -Emissionen	(kg)	26,6	20,6 (-23 %)	26,0 (-2 %)	23,4 (-12 %)	22,8 (-14 %)	22,8 (-14 %)

Busse nicht möglich ist, auf dem Parkplatz zu halten, solange dieser durch einen parkenden Bus belegt ist. Diese Ergebnisse zeigen also, dass bei der Umsetzung des Aussteigens auf Parkplätzen unbedingt die geänderte Parkinfrastruktur definiert werden muss, um das Parken an zentralen Orten zu verhindern. Für die Fahrgäste führt diese Maßnahme zu einer Vergrößerung der Entfernung zwischen dem Busausstieg und der Attraktion (im Durchschnitt von 42 m auf 420 m).

- **Umsetzung einer modifizierten Parkplatzinfrastruktur** (Maßnahme 2)
Durch die Einteilung der Parkplätze in geeignete Kategorien (Drop-off, Kurzzeitparken, Langzeitparken) können die Emissionen reduziert werden. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass 2 % der CO₂-Emissionen (54,6 Tonnen pro Jahr) auf diese Weise eingespart werden können. Die Reduktion der durch Leerfahrten zurückgelegten Strecke beträgt jedoch 7,9 %; die Diskrepanz ergibt sich aus dem Anteil der Leerfahrten an der Gesamtstrecke. Die Veränderung dieser Parkrauminfrastruktur ist mit geringem Aufwand zu realisieren, da lediglich die Beschilderung der Parkplätze geändert werden müsste, da in diesem Szenario keine technischen Hilfsmittel (Kapazitätserkennung oder Reservierungssystem) vorausgesetzt werden. Insbesondere wenn eine digitale Busstrategie angestrebt wird, könnte dieser Schritt bereits vor der Einführung einer App umgesetzt werden und um somit zu diesem Zeitpunkt bereits Emissionen einzusparen.
- **Durch die Festlegung von maximalen Haltezeiten an den Parkplätzen können extreme Wartezeiten an den Busparkplätzen beim Aussteigen der Fahrgäste vermieden werden** (Szenario 1)
Die durchschnittlichen Wartezeiten können auf ca. 30 min pro Fahrt reduziert werden, wenn das forcierte Ein- und Aussteigen an den Parkplätzen (Maßnahme 1) mit der Klassifizierung der Parkplätze (Maßnahme 2) kombiniert wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass stark frequentierte Stellplätze nicht mehr durch Dauerparker blockiert werden und somit häufiger zur Verfügung stehen. Aufgrund der verbleibenden Wartezeiten erhöht sich die mittlere Parksuchzeit (Anfahrt zum Parkplatz und Warten auf einen freien Stellplatz) gegenüber dem Basisszenario von 4,9 min auf 13,6 min.
- **Ein Reservierungssystem reduziert die Leerfahrten** (Szenario 2)
Die Ergebnisse zeigen, dass die Einführung eines Reservierungssystems Vorteile bei den Leerfahrten bringt. Die Strecke der Leerfahrten wird im Vergleich zum Basisszenario um 56 % reduziert, was eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 14 % zur Folge hat.
- **Eine ausreichende Kapazität an Stellplätzen ist notwendig, um eine Einhaltung der Regeln zu ermöglichen** (Szenario 3)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wartezeit für Busse auf durchschnittlich 2 min pro Fahrt reduziert werden kann, wenn ausreichend Parkraum zur Verfügung gestellt wird. Es ist daher zu erwarten, dass die Busfahrer nicht mehr irregulär halten müssen und somit gefährliche Situationen zwischen allen Verkehrsteilnehmern reduziert werden können. Weiterhin konnte die Strecke der Leerfahrten um 57 % und die durchschnittliche Fahrzeit zu einem Parkplatz um 14 % auf 4,2 min gesenkt werden. Außerdem könnten fast alle Parkvorgänge durchgeführt werden, während im Basisszenario 10 % aller geplanten Parkvorgänge abgebrochen wurden, weil kein geeigneter Parkplatz gefunden werden konnte (die Busse suchten also so lange nach einem Parkplatz, bis sie der Zeitpunkt zur Abholung der Fahrgäste erreicht war).

7 Fazit und Ausblick

Die Simulationen zeigen, dass die Umsetzung des Konzeptes zur Parkplatzklassifizierung das Verkehrsaufkommen reduzieren, die Luftqualität verbessern und die Gesamteffizienz des Busbetriebs im Gelegenheitsverkehr in Berlin steigern würde. Diese umfassende Fallstudie veranschaulicht die Herausforderungen des Busverkehrs in einer Großstadt und liefert umsetzbare Erkenntnisse und Strategien zur Lösung dieser Probleme, die zu einer nachhaltigeren städtischen Mobilität beitragen. Es wird auch gezeigt, dass diese Maßnahmen nur dann wirksam sind, wenn ausreichende Parkkapazitäten zur Verfügung stehen. Ist dies nicht der Fall, werden die Busse wahrscheinlich (weiterhin) an ungeeigneten Stellen halten, um den Fahrgästen das Aussteigen zu ermöglichen.

Die kontinuierliche Zusammenarbeit zwischen Stadtplanern, Verkehrsbehörden und Interessenvertretern ist von entscheidender Bedeutung, um diese Strategien anzupassen, zu verfeinern und sicherzustellen, dass sie den sich entwickelnden Anforderungen des Stadtverkehrs gerecht werden. Zukünftige Forschung sollte auch die Integration dieser Maßnahmen mit anderen nachhaltigen Verkehrsinitiativen, wie z. B. Elektrobussen, untersuchen, um die Umweltvorteile weiter zu verbessern und einen ganzheitlichen Ansatz für das städtische Mobilitätsmanagement zu schaffen.

Danksagung Diese Arbeit ist Teil des Projekts „Reisebusstrategie für Berlin“ im Rahmen des Berliner Programms für nachhaltige Entwicklung (BENE), das vom Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und dem Land Berlin finanziert wird (Projektnummer 1317-B5-O).

Literatur

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. (2020). *Statistischer Bericht – Personenverkehr mit Bussen und Bahnen in Berlin 2019*. https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/b056d27e15526e50/324aa0025efe/SB_H01-05-00_2019j05_BE.pdf.
- Berlin Tourismus & Kongress GmbH. (2016). *BusStop Berlin*. <https://about.visitberlin.de/sites/default/files/MAM/asset/2017-08/BusStop%20Berlin%202016-17.pdf>.
- Berlin Tourismus & Kongress GmbH. (2023). *Tourismusstatistik der Berliner Bezirke*. <https://about.visitberlin.de/materialien/toolkit/bezirke?page=1>.
- Charlton, W., & Sana, B. (2023). SimWrapper, an open source web-based platform for interactive visualization of microsimulation outputs and transport data. *Procedia computer science*, 220, 724–729. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.095>.
- Ewert, R. (2023). *Szenario-Übersicht BENE Reisebustrategy*. <https://vsp.berlin/bene>.
- Ewert, R., Dizdar, M. A. C., Nagel, K., & Richter, T. (2023). *Entwicklung und Untersuchung verschiedener Maßnahmen zur Strukturierung des Berliner Reisebusverkehrs mithilfe einer agentenbasierten Verkehrssimulation*. <https://doi.org/10.14279/depositonce-19698>.
- Ewert, R., & Nagel, K. (2023). *Investigating different strategies for within day bus parking using a agent-based traffic simulation – A Case Study of Berlin*. <https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/20818>.
- Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2016). *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. Ubiquity Press. <https://doi.org/10.5334/baw>.
- OpenStreetMap. (2023). *OpenStreetMap*. <http://www.openstreetmap.org>.
- Tourismus in Zahlen. (2023, Mai 3). <https://www.berlin.de/sen/wirtschaft/branchen/tourismus/tourismus-in-zahlen/>.
- visitBerlin. (o. J.). visitBerlin. Abgerufen 28. September 2023. <https://www.visitberlin.de/de>.