



universität  
wien

## **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

an Fakultät für Informatik  
der Universität Wien

# **Explorative Datenanalyse von Fahrtdaten des Fahrradverleihsystems Citybike Wien für die Jahre 2016 und 2017**

Eingereicht bei: o.Univ.-Prof. Dr. Dimitris Karagiannis  
Institut für Knowledge and Business Engineering

Betreuer: Dipl.-Ing. Vimal Kunnummel, BSc

Vorgelegt von: Jakub Zvonek  
Matrikelnummer 01502050  
Währinger Straße 29  
1090 Wien  
E-Mail: a01502050@unet.univie.ac.at

Wien, den 30. Dezember 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ziele und Struktur der Arbeit . . . . .	3
1.2 Geschichte, Verbreitung und Arten von BSS . . . . .	4
1.3 Stärken und Schwächen von Fahrradverleihsystemen im Vergleich . . . . .	6
1.4 Jüngste und mögliche Entwicklungen von BSS . . . . .	7
1.5 Fragestellungen bei der Umsetzung und Betrieb von BSS . . . . .	8
1.5.1 Umweltfaktoren . . . . .	8
1.5.2 Rebalancierungs- und Routingproblem . . . . .	9
1.6 Related Work . . . . .	11
1.6.1 Geschichte, Anwenderpsychologie und Performanzmessung von BSS . .	11
1.6.2 Mathematische Optimierung und Heuristiken . . . . .	12
1.6.3 Explorative Datenanalyse . . . . .	12
1.6.4 Vorhersagemodellierung mithilfe von Machine Learning und Big Data .	13
<b>2 Explorative Datenanalyse</b>	<b>15</b>
2.1 Citybike Wien . . . . .	15
2.1.1 Kostenmodell von Citybike Wien . . . . .	17
2.1.2 Rebalancierungsansatz von Citybike Wien . . . . .	17
2.1.3 'Citybike Wien'-Datensatz für die Jahre 2016 und 2017 . . . . .	18
2.2 Einblicke samt Fragestellungen und Vorgehen . . . . .	20
2.2.1 Grobe Datentransformation . . . . .	20
2.2.2 Basisauswertung . . . . .	21
2.2.3 Umsatz aus Entleihungsgebühren . . . . .	22
2.2.4 Kategorisierung der Nutzer nach Verwendungshäufigkeit für beide Jahre	24
2.2.5 ABC-Analyse der Stationen nach Anteil am Verkehr . . . . .	26
2.2.6 Visualisierung der aus der ABC-Analyse stammenden Ergebnisse . . . .	27
2.2.7 Verteilung der Produzenten und Konsumenten . . . . .	30

<b>3 Diskussion</b>	<b>32</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>34</b>

## Tabellenverzeichnis

1.1	Kategorisierung der Umweltfaktoren . . . . .	8
-----	--	---

## Abbildungsverzeichnis

1.1	BPMN-Modell des Entleihungsprozesses am Beispiel CityBike Wien . . . . .	2
1.2	Wachstum der Anzahl von BSS visualisiert [Manzi u. Saibene (2017)] . . . . .	4
2.1	Verteilung der insgesamt 120 Stationen . . . . .	15
2.2	Balkendiagramm samt Verteilung der Fahrten pro Monat . . . . .	21
2.3	Nutzer kategorisiert nach Verwendungsaufkommen . . . . .	24
2.4	Grafik der Verteilung an ausgehenden Fahrten am Gesamtvolumen je Station .	26
2.5	Grafik der Verteilung an eingehenden Fahrten am Gesamtvolumen je Station .	27
2.6	Stationen in Kategorie: A . . . . .	28
2.7	Stationen in Kategorie: B . . . . .	28
2.8	Stationen in Kategorie: C . . . . .	29
2.9	Verteilung der Produzenten (rot) und Konsumenten (schwarz) . . . . .	30
2.10	Das Ungleichgewicht an ausgehenden und eingehenden Fahrten . . . . .	31

# 1 Einleitung

In Städten weltweit werden sogenannte 'Bike Sharing'-Systeme (BSS) betrieben. Es lässt sich regelrecht von einem 'Bike Sharing'-Boom sprechen. Im Juni 2018 wurden insgesamt 1 718 unterschiedliche BSS in urbanen Gebieten vermerkt. Die Gesamtanzahl an Leihrädern in Benutzung beläuft sich auf ungefähr 17 960 000 [o.V. (2018a)], stationsbasierte sowie dockless BSS miteinbezogen.

Bei einem stationsbasierten BSS handelt es sich um ein System bestehend aus einer Flotte von Fahrrädern und einer Menge von strategisch verteilten Docking-Stationen. Benutzer können Fahrräder an einer beliebigen Docking-Station ausleihen oder retournieren. Hierfür ist es notwendig, dass sich der Nutzer registriert. Beim Registrierungsprozeß hinterlegt der Kunde eine passende Zahlungsmöglichkeit (e.g. Kreditkarte). Nachdem die Registration abgeschlossen wurde kann der Anwender ein Fahrrad für eine maximal vorgegebene Zeit ausleihen. Nach Rückgabe des Fahrrades an einer Station wird der Kunde, je nach Benutzungsdauer belastet, wodurch der ganze Zahlungsvorgang automatisch abgeschlossen wird. Zusätzlich zu Zahlungszwecken dient die hinterlegte Zahlungsvariante als Pfand für das ausgeliehene Fahrrad. Durch Sicherstellung des Pfandes soll Vandalismus oder Diebstahl vermieden werden.

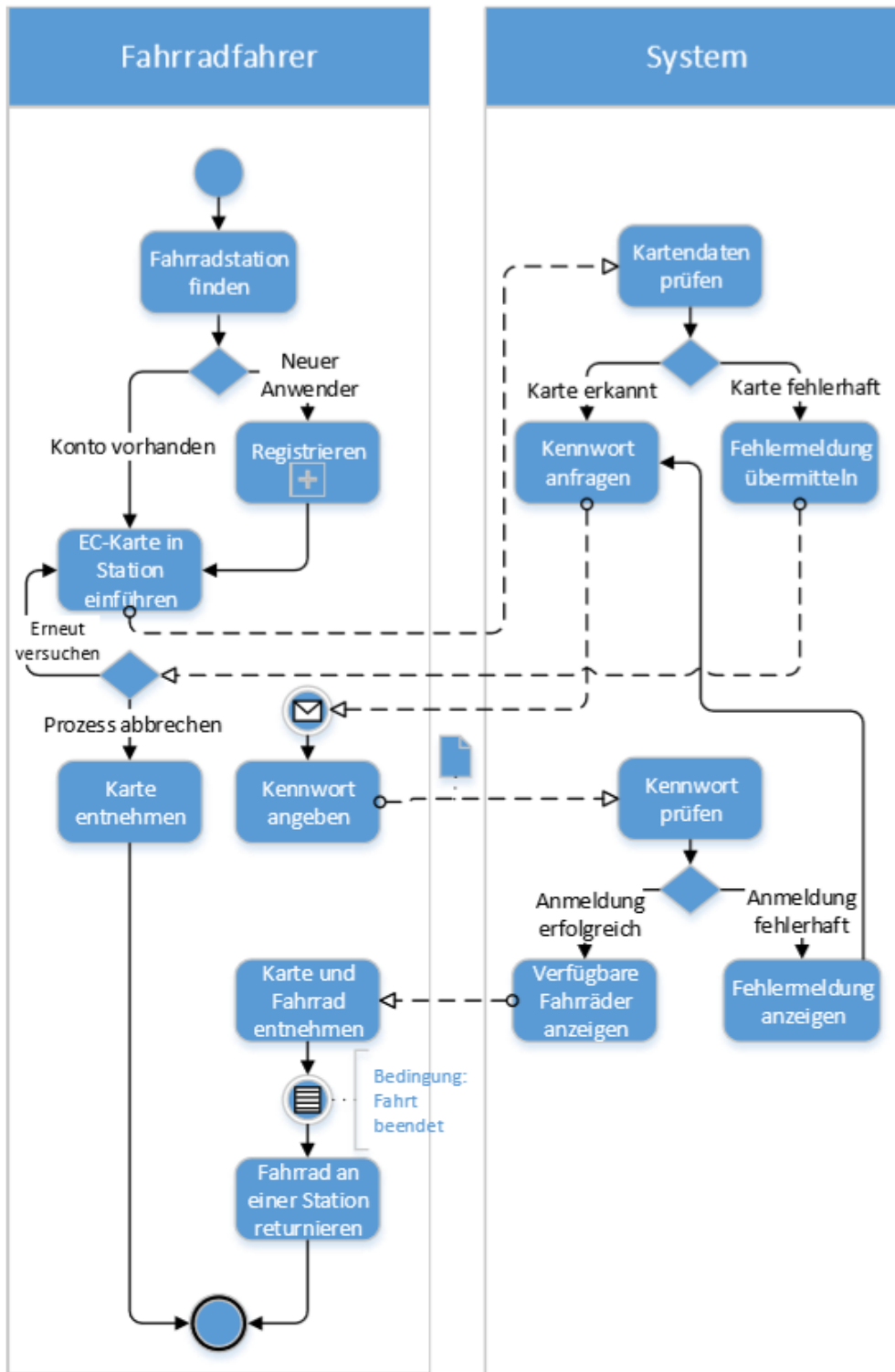


Abbildung 1.1: BPMN-Modell des Entleihsprozesses am Beispiel CityBike Wien

## 1.1 Ziele und Struktur der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in drei Hauptkapitel.

Als Einführung in die Thematik werden die Funktionsweise, Geschichte, Entwicklungen und Merkmale von unterschiedlichen BSS erklärt. Wobei der Schwerpunkt der Arbeit auf stationbasierte BSS gesetzt wird. Zu beachtende Umweltfaktoren bei der Umsetzung von BSS und die wichtigsten Optimierungsprobleme welche beim Betrieb eines BSS entstehen werden erklärt um dem Leser ein besseres Verständnis vom Thema und der Komplexität zu vermitteln. Das erste Kapitel wird mit einer Literaturübersicht abgeschlossen. Die Paper welche zur Ausarbeitung der folgenden Arbeit verwendet wurden, werden zum Abschluss des Kapitels in vier Kategorien unterteilt und zusammengefasst. Ziel der Zusammenfassung ist es aufzuzeigen welche Problemstellungen in unterschiedlichen Arbeiten bearbeitet wurden und welche Ansätze und Erkenntnisse geschaffen wurden um diese zu beantworten.

Der Hauptteil der Arbeit besteht aus der explorativen Datenanalyse eines Datensets des in Wien ansässigen BSS-Betreibers Citybike Wien mithilfe der Python-Bibliotheken **Pandas**, **Matplotlib**, **Seaborn** und **Gmaps**. Die Arbeit setzt sich zwei Hauptziele. Zum einen möchte man die Möglichkeiten der genannten Software-Werkzeugen anhand von reale Daten demonstrieren. Parallel dazu werden Fragestellungen bezogen auf Citybike Wien mithilfe der bereitgestellten Daten beantwortet um ein besseres Verständnis zur Funktionsweise und Dynamik des Systems zu erlangen.

Das Verständnis von Citybike Wien ist insofern interessant, da es sich seit Einführung im Jahr 2003 bewährt hat und fester Bestandteil der Mobilität in Wien geworden ist, obwohl überwiegend kostenlos. Eine Arbeit welche das System anhand von Fahrtdaten für die Jahre 2016 und 2017 untersucht konnte nicht identifiziert werden. Diese Lücke versucht man durch diese Arbeit und die dazugehörigen Artefakte zu schließen.



## 1.2 Geschichte, Verbreitung und Arten von BSS

Die Anzahl der BSS in Verwendung ist in den letzten fünfzehn Jahren stark angestiegen. Private Anbieter betreiben BSS zu Profitzwecken, Stadtverwaltungen versprechen sich durch BSS ökologische sowie soziale Vorteile. Insbesondere die Erweiterung bestehender öffentlicher Verkehrsmittel mithilfe von BSS, wie zum Beispiel das Straßen- und U-Bahnnetz macht BSS für Stadtverwaltungen interessant. Benutzer haben somit die Möglichkeit zwischen Haltestellen des öffentlichen Verkehrs mithilfe von ausgeliehenen Fahrrädern zu pendeln, vorausgesetzt eine Docking-Station befindet sich in Nähe der Haltestelle. Durch stärkere Verbreitung von Radverkehr wird die Verkehrslage positiv beeinflusst da sich das Vorkommen von Fahrrädern erhöht wodurch ein Teil der motorisierten Fahrten vermieden werden kann. Somit ist das Verkehrsnetz weniger ausgelastet und es besteht ein kleineres Staurisiko [Caulfield u. a. (2017)].

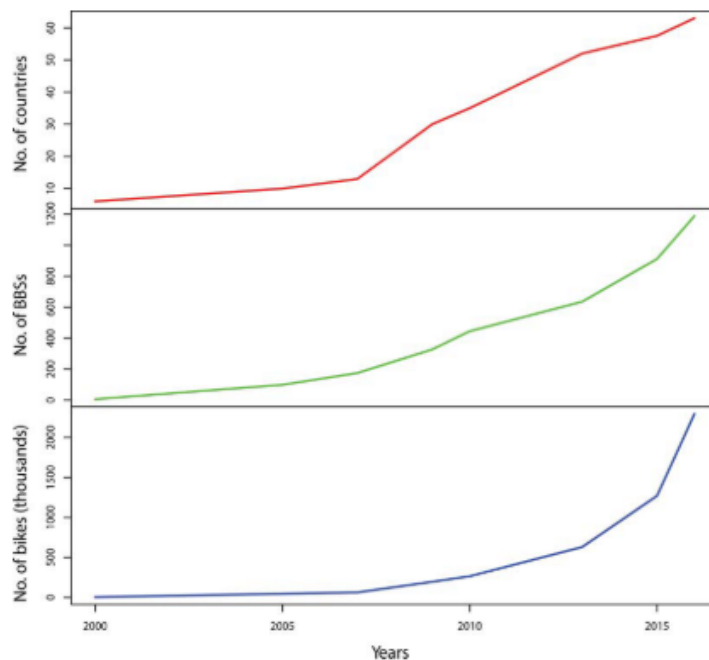


Abbildung 1.2: Wachstum der Anzahl von BSS visualisiert [Manzi u. Saibene (2017)]

Das erste BSS welches es Anwendern ermöglicht hat Fahrräder auszuleihen wurde in Amsterdam vor mehr als fünfzig Jahren gegründet. Die Stadtverwaltung hat damals herkömmliche Fahrräder zur freien Entnahme bereitgestellt. Nutzer konnten diese Fahrräder für beliebig lange Zeit ausleihen, da kein Kontrollsystem eingesetzt wurde. Das BSS konnte sich nicht durchsetzen, da es zu Vorfällen kam bei denen Fahrräder entwendet oder absichtlich beschädigt wurden. Das System wurde nach kurzer Zeit aufgelöst [Demaio (2009)].

Die zweite Generation von BSS wurde erstmals in Kopenhagen implementiert. Diesmal mussten Nutzer einen Münzpfand hinterlegen um ein Fahrrad ausleihen zu können. Der Fokus lag auf Universitätseinrichtungen mit Studenten als Zielgruppe. Auch bei diesem System konnte Diebstahl und Vandalismus nicht ausgeschlossen werden.

Die ersten stationsbasierten BSS so wie sie heute im Einsatz sind wurden gegen Ende der Jahrtausendwende vorgestellt. Möglich wurde dies in erster Linie durch technologische Fortschritte und den Einsatz von Kontrollmechanismen die sicherstellten, dass Fahrräder nicht gestohlen oder beschädigt wurden. Städte wie Paris (2005), München (2000) und Wien (2003) waren Pioniere bei der Umsetzung von BSS. In Europa, Asien und Nordamerika sind BSS fester Bestandteil urbaner Mobilität geworden.

In den letzten drei bis vier Jahren ist insbesondere in China eine rapide Verbreitung von dockless 'Bike Sharing'-Systemen (DLBSS) zu vermerken. Der Unterschied zu klassischen Fahrradverleihsystemen besteht darin, dass Fahrräder nicht an eine Docking-Station gebunden sind sondern frei auf das Stadtgebiet verteilt werden.

Benutzer laden die App eines Anbieters ihrer Wahl auf ihr Smartphone herunter und schließen die Registrierung ab. Über die App haben Anwender die Möglichkeit den Standort von verfügbaren Fahrrädern einzusehen. Die einzelnen Details in der Handhabung der Smartphone-App können sich von Anbieter zu Anbieter unterscheiden, folgen allerdings dem gleichen Muster. Nach abgeschlossener Anmeldung haben Nutzer die Möglichkeit eine Kautions zu hinterlegen. Nachdem die Kautions abgebucht wurde wählt man ein passendes Fahrrad welches für eine kurze Zeitdauer (e.g. zehn Minuten) reserviert werden kann. Der Standort der verfügbaren Fahrräder wird in Echtzeit aktualisiert und ist jederzeit über die App, auf einer Stadtkarte einsehbar. Sobald man das Fahrrad gefunden hat ist es nötig den QR-Code, welcher sich auf dem Fahrradschloss befindet einzulesen. Somit wird das Fahrrad entsperrt und ist fahrbereit. Der ganze Prozess wird über die Smartphone-App abgewickelt.

### 1.3 Stärken und Schwächen von Fahrradverleihsystemen im Vergleich

Das Unternehmen 'Ofo' gilt als der erste Betreiber von DLBSS und wurde 2014 in China gegründet [o.V. (a)]. Die Gründung des Konkurrenten oBike folgte im Jahr 2017. Seitdem hat sich der Markt für DLBSS rapide entwickelt. Ermöglicht wurde dies in erster Linie durch die Allgegenwart von Smartphones und die Verbreitung von mobilem Internet. oBike stammt ursprünglich aus Singapur und war am Höhepunkt seiner Beliebtheit in 22 Ländern tätig, darunter auch in Österreich [o.V. (b)]. Im Juni 2018 machte oBike seinen Konkurs bekannt [o.V. (2018b)].

Ein weiterer Vorteil welchen DLBSS gegenüber stationsbasierten BSS haben ist die Anzahl von verfügbaren Fahrrädern [Shen u. a. (2018)]. Dadurch dass Fahrräder nicht an eine Station mit einer begrenzten Anzahl von Docks gebunden sind kann die Flottengröße durch den Anbieter dynamisch festgelegt werden. Auch die Verteilung von Fahrrädern ist nicht eingeschränkt. Somit kann der Anbieter die Fahrräder so platzieren, dass die Auslastung des Systems maximiert wird. Es muss allerdings erwähnt werden, dass sich viele Städte, in denen DLBSS verfügbar sind darum bemühen die Verteilung der Fahrräder zu regulieren um negative Externalitäten zu minimieren.

Der zuletzt genannte Vorteil ist zugleich der größte Kritikpunkt und Schwachstelle von DLBSS. Durch die Möglichkeit Fahrräder an einem beliebigen Standort abzulegen entstehen negative soziale Externalitäten in Form von Vandalismus und Diebstahl [Shen u. a. (2018)]. Stadtverwaltungen fordern deshalb strengere Regulierungsmaßnahmen für DLBSS.

Die Situation hat sich durch den Konkurs von oBike verschlechtert da der Anbieter nicht in der Lage ist die Fahrräder aus den einzelnen Städten zu entfernen. Somit liegt es im Zuständigkeitsbereich der Stadtverwaltungen die Fahrräder zu beseitigen. Auch die Stadt Wien ist von diesem Problem betroffen [o.V. (2018c)]. Es ist also fraglich ob sich DLBSS auf lange Sicht im Konkurrenzkampf gegenüber stationsbasierten BSS als vorteilhaft erweisen werden, da die genannten negativen Externalitäten bei klassischen BSS in dem Ausmaß nicht vorhanden sind.

## 1.4 Jüngste und mögliche Entwicklungen von BSS

DLBSS erfreuen sich in Asien großer Beliebtheit, negative soziale Effekte behindern allerdings die weitere Verbreitung von solch Systemen. Insbesondere in Europa werden DLBSS kontrovers diskutiert. Die Anforderungen an Regulierungsmaßnahmen steigen wodurch sich die operativen Kosten, welche vom DLBSS-Anbieter aufzuwenden sind erhöhen. Zudem sind mehrere DLBSS-Anbieter in jüngster Zeit in Konkurs gegangen wodurch sich über die Rentabilität von DLBSS diskutieren lässt [Tchebotarev (2018)]. Ob DLBSS die Zukunft von 'Bike Sharing' sind ist daher fraglich.

Hingegen haben sich stationsbasierte BSS in großen Städten als vorteilhaft und nachhaltig herausgestellt. Daher ist damit zu rechnen, dass die Verbreitung und Ausbau von stationsbasierten BSS auch in Zukunft voranschreiten wird. Neben den positiven sozialen Effekten spielen auch wirtschaftliche Aspekte eine Rolle. Was dies betrifft haben sich stationsbasierte BSS in den meisten Fällen als rentabel herausgestellt [Sun u. a. (2018)].

Eine wichtige Entwicklung, welche stationsbasierte BSS attraktiver machen soll ist der Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrrädern. Da die Beschaffungspreise von e-Bikes immer noch vergleichsweise hoch sind, ist von einer schrittweisen Verbreitung auszugehen.

Der nächste Schritt in Richtung 'Bike Sharing' ist die Umsetzung von stationsbasierten BSS in kleinen bis mittelgroßen Städten. Die Nutzung von BSS in kleinen Städten hat sich als nützlich und haltbar erwiesen [Caulfield u. a. (2017)]. So wurde in der amerikanischen Stadt Fargo im Bundesstaat 'North Dakota' ein BSS auf einem Universitätscampus implementiert. Die Kosten für das System werden durch Studiengebühren gedeckt und jeder Studierende hatte kostenlos die Möglichkeit die Fahrräder für Fahrten zwischen den universitären Einrichtungen zu nutzen. Dieses Modell von Mobilität für kurze Strecken ließe sich auch auf andere Lokalitäten, wie zum Beispiel Touristenziele anwenden wodurch zusätzlicher Mehrwert für Besucher geschaffen werden kann.

Die Nextbike GmbH, ein aus Leipzig stammender BSS-Betreiber, ist sich dieser Marktlücke bewusst geworden und bietet einen Dienst namens Campusbike an. Studierende können Fahrräder des BSS-Betreibers NextBike unter günstigeren Bedingungen ausleihen und verwenden. Zum jetzigen Zeitpunkt wird der Dienst in Zusammenarbeit mit 31 deutschen Hochschulen und Universitäten angeboten [o.V. (c)].

## 1.5 Fragestellungen bei der Umsetzung und Betrieb von BSS

### 1.5.1 Umweltfaktoren

Die vorläufige Planung vor Umsetzung und Inbetriebnahme eines BSS ist ausschlaggebend für den Erfolg des Systems [Sun u. a. (2018)]. Daher befassen sich unterschiedliche Wissenschaftsgebiete mit den Problemen die bei Entwurf und Betrieb eines BSS anfallen. Fragestellungen wie zum Beispiel die strategische und bestmögliche Verteilung von BSS-Stationen sind auch auf andere Wissensgebiete übertragbar. Sodass sich WissenschaftlerInnen in Logistik, Operation Research, Mathematik, Stadtplanung und Informatik mit Optimierungsfragestellungen beschäftigen [Médard de Chardon u. a. (2016)].

Für die strategische Verteilung von Stationen ist die Miteinbeziehung der Umwelt in der Planungsperiode ausschlaggebend [García-Palomares u. a. (2012)]. Die Umgebungsfaktoren wurden zu Verständniszwecken folgens kategorisiert.

Infrastruktur	Umgebung	Gesellschaft
- Radwege	- Topographie	- Offenheit für Fahrradverkehr
- Markierungen	- Wetter	- Umweltfreundliche Werte
- Beschilderungen		- Sicherheit (Fahrverhalten)
- Ampeln		- Gewohnheiten
- Anbindung an ÖVM		- Kosten-Nutzen
- Vernetzung mit POI		

Tabelle 1.1: *Kategorisierung der Umweltfaktoren*

Die Miteinbeziehung der bestehenden Infrastruktur im Laufe der Planung spielt eine Schlüsselrolle für das Nutzungspotenzial des Systems. Infrastruktur ist kein statischer Faktor und kann durch intelligente Fahrradpolitik positiv beeinflusst werden. Beispielsweise macht es die Positionierung von Stationen in Nähe von Haltestellen des öffentlichen Verkehrs für Nutzer einfacher den Weg zwischen zwei Haltestellen mit dem Fahrrad zu überbrücken.

Umweltfaktoren wie Topographie, Grünflächen und das Klima müssen bei der Planung beachtet werden. Diese können nachträglich nicht angepasst werden und es ist daher erforderlich diese Faktoren als Konstanten zu betrachten. So war beispielsweise die hügelige Landschaft der Stadt Seattle einer der Gründe für das Scheitern von Pronto Bike, einem BSS welches über einen Zeitraum von drei Jahren betrieben wurde [Sun u. a. (2018)]. In kälteren Klimazonen ist mit einem höheren Aufwand und kleineren Renditen zu rechnen da sich die Auslastung eines BSS an Wintertagen natürlicherweise vermindert. Außerdem erhöhen sich die operativen Kosten in den Wintermonaten da es, bedingt durch die Nichtauslastung des BSS, erforderlich ist die

Flottengröße zu vermindern. Der Abtransport von Fahrrädern gleicht zusätzlichen Kosten für den BSS-Betreiber.

Die Einstellung der potenziellen Nutzer gegenüber Fahrradverkehr determiniert die Bereitschaft das System bei optimalen Umwelt- und operativen Bedingungen zu nutzen. In Studien wurde festgestellt, dass umweltbewusste Bewohner einer Stadt dazu neigen ökologisch freundliche Transportmittel zu benutzen, darunter BSS. Kampagnen welche die Vorteile aus Sicht der Umwelt kommunizieren führen zu einer höheren Auslastung des BSS [Kim u. a. (2017)].

### 1.5.2 Rebalancierungs- und Routingproblem

Sobald das System erstmals in Betrieb genommen wurde liegt es im Zuständigkeitsbereich des Betreibers sicherzustellen, dass das BSS betriebsbereit ist. Das BSS muss in der Lage sein den Bedarf seitens der Nutzer zu befriedigen. Alle Kosten die während des Systembetriebs anfallen werden als operative Kosten bezeichnet. Hingegen bezeichnen Kapitalkosten die Aufwände welche sich bei der Anschaffung und Umsetzung des Systems ergeben. Hierzu gehören Investitionen in Fahrräder, Stationen und Inventar.

Kapitalkosten sowie zukünftig anfallende operative Kosten lassen sich durch vernünftige Planung und Berücksichtigung der Umweltfaktoren vermindern. So kann es sich ein BSS-Betreiber leisten kleinere Stationen samt einer kleineren Flottengröße einzusetzen unter der Voraussetzung, dass die Auslastung durch das verwendete Bedarfsanalysemodell bestmöglich vorhergesagt wird.

Ein zentrales Problem, mit dem sich BSS-Anbieter befassen ist das sogenannte Rebalancierungs- und Routingproblem (RUR). Das RUR befasst sich mit der Anzahl an Fahrrädern je Station und Routenplanung für Fahrten zwischen den einzelnen Stationen zum Zwecke der Umverteilung. Die Anforderung der Umverteilungen ergibt sich aus der inhärent gegebenen asymmetrischen Nutzung von BSS. Stationen werden im Laufe des Tages von Nutzern des BSS nicht gleichmäßig befüllt beziehungsweise entleert. Hierfür kann es mehrere Gründe geben. Beispielsweise nutzen viele Anwender das BSS für Fahrten in die Innenstadt, wählen dann allerdings eine alternative Transportmöglichkeit für die Rückfahrt. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung der Fahrräder aus den Außen- in die Innenbezirke innerhalb des Stadtgebietes. Ohne Eingriff des Betreibers würde das BSS unter der asymmetrischen Ressourcenverschiebung kollabieren [Schuijbroek u. a. (2017)].

Sobald eine Station innerhalb des Systems ganz befüllt oder entleert wird, spricht man von einem Ausfall (Outage) [Médard de Chardon u. a. (2016)]. Das größte Problem fällt an wenn Nutzer nicht in der Lage sind ein ausgeliehenes Fahrrad an einer gewünschten Station zu

retournieren. Dadurch ist der Benutzer gezwungen eine alternative Station zu finden was zu unnötigen Verzögerungen und Unzufriedenheit führt.

Es ist zwischen statischer und dynamischer Rebalancierung zu unterscheiden [Raviv u. Kolka (2013)]. Bei der statischen wird das System bei minimaler Auslastung in einen gewünschten Ausgangszustand gebracht. Hierbei werden Fahrräder in der Nacht von überfüllten Stationen zu weniger befüllten Stationen verschoben. Bei der dynamischen Rebalancierung werden Fahrräder zu Stoßzeiten oder im Laufe des Tages gleichmäßig verteilt um die Funktionalität des Systems zu gewährleisten. Statische sowie dynamische Rebalancierung wird vom BSS-Betreiber mithilfe von einer Flotte von Fahrzeugen ausgeführt.

Eine alternative Art BSS zu rebalancieren ist es Nutzern Anreize für das Retournieren von Fahrrädern an weniger ausgelastete Stationen zu bieten [Fricker u. Gast (2012)]. Diese Anreize können in Form von zusätzlichem Guthaben sein. Als Beispiel für solch einen Anreiz lässt sich die Aktion von CityBike Wien namens 'Citybike Uphill Team' nennen. Anwender können so Punkte sammeln wenn sie Fahrräder an einer höher gelegenen Station zurückgeben. Je nach Herausforderung erhält man bei Erreichen der Höhenmeter einen garantierten Preis oder Gewinnchancen für (Konzert-)Karten oder Tickets [o.V. (d)].

Da der Transport von Fahrrädern eine der größten operativen Kosten für den Betreiber darstellt ist es nötig passende Entscheidungen auf strategischer sowie operationaler Ebene zu treffen. Die Berücksichtigung von den oben erwähnten Umweltfaktoren in Verbindung mit der richtigen Lösung des RUR ist ausschlaggebend für die Sicherstellung der Funktionalität und Benutzbarkeit des BSS.

## 1.6 Related Work

BSS bekommen in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit seitens der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Hierfür gibt es mehrere Gründe. Die Erforschung von Fragestellungen die sich auf BSS beziehen wird in erster Linie durch die rapide Verbreitung von solch Systemen motiviert. Ein weiterer Faktor für die Beliebtheit von BSS als Forschungsgebiet sind die daraus resultierenden Fragestellungen welche sich mit anderen Forschungsgebieten überschneiden. Durch die Zugänglichkeit von Daten welche von vielen BSS-Betreibern in anonymisierter Form online zur Verfügung gestellt werden kann jeder Logistiker, Informatiker und Wissenschaftler aus unterschiedlichen Wissensgebieten Untersuchungen betreiben. Für die Zwecke dieser Arbeit wurden Arbeiten in vier voneinander unterscheidbaren Kategorien unterteilt. Jede der Kategorien betrachtet BSS und die daraus resultierenden Probleme aus einer unterschiedlichen Perspektive.

### 1.6.1 Geschichte, Anwenderpsychologie und Performanzmessung von BSS

Es wurden Paper identifiziert die sich nicht mit einem der oben genannten Optimierungsprobleme (RUR, Stationenverteilung) befassen. DeMaio [Demaio (2009)] beschreibt die Entwicklungen von BSS in einem Zeitraum von der Entstehung des ersten BSS bis hin ins Jahr 2009. Ein weiterer Beitrag der Arbeit ist die Kategorisierung der anfallenden Kosten bei der Umsetzung und Betrieb eines BSS und die unterschiedlichen Finanzierungsmöglichkeiten.

Junghwa, Choi und Kim untersuchten als einzige Arbeit die psychologischen Leitmotive von BSS-Nutzern und konnten feststellen, dass ökologisches Denken und Wahrnehmung eine der wichtigsten Entscheidungsvariablen bei der langzeitlichen Verwendung von BSS sind [Kim u. a. (2017)]. In ihrer Arbeit verwenden die Autoren das ‘Norm Activation Model’ welches altruistisches und umweltfreundliches Verhalten abbildet. Die Erkenntnisse aus dieser Arbeit helfen dabei die menschliche Komponente von BSS zu verstehen und zeigen, dass sich die Auslastung von BSS mithilfe von gezielten Werbekampagnen beeinflussen lässt solange die Vorteile der Nutzung richtig kommuniziert werden.

Eine ausgiebige Beschreibung von unterschiedlichen Rebalancierungsstrategien und strategischen Ansätzen zur erfolgreichen Umsetzung von BSS wurde von de Chardon, Caruso und Thomas in ihrer Arbeit aufgelistet [Médard de Chardon u. a. (2016)]. Die Arbeit definiert klar messbare Größen für neun unterschiedliche BSS anhand dessen sich die Performanz der einzelnen BSS quantifizieren lässt. Der Fokus liegt auf Kategorisierung, Performanzmessung und Vergleich von Fahrradverleihsystemen mithilfe von Kennzahlen.



### 1.6.2 Mathematische Optimierung und Heuristiken

Ein großer Teil der wissenschaftlichen Literatur widmet sich dem Rebalancierungs- und Routingproblem. Insbesondere finden Methoden der mathematischen Optimierung und Heuristiken ihren Einsatz bei der Lösung der genannten Probleme.

So stellen Raviv und Kolka [Raviv u. Kolka (2013)] ein Bestandsmodell samt numerischer Methode zur Berechnung der optimalen Flottengröße vor. Die Autoren geben an, dass die aus der durchgeführten Fallstudie gewonnenen Kenntnisse und das Bestandsmodell auch auf andere closed-loop Systeme übertragbar sind.

Bei fortgeschrittenen Optimisierungsmodellen ist die Berechnung von quasi-optimalen Lösungen für das RUR sehr rechenintensiv und kann in manchen Fällen mehrere Stunden dauern [Schuijbroek u. a. (2017)]. Da die Verteilung von Fahrrädern bei Betrieb eines BSS dynamisch ausgeführt werden muss sind komplexe Optimierungsmodelle in Echtzeit nicht umsetzbar. Daher stellen Schuijbroek, Hampshire und van Hoesel eine cluster-first, route-second Heuristik vor welche die einzelnen Stationen in zusammengehörige Cluster unterteilt. Die nötigen Rebalancierungsrouten werden darauffolgend innerhalb der Cluster, nach Feststellung der nötigen SLAs berechnet wodurch die Komplexität verringert wird [Schuijbroek u. a. (2017)].

### 1.6.3 Explorative Datenanalyse

Die Verfügbarkeit von strukturierten BSS-Daten eignet sich gut zu ‘Data Mining’-Zwecken. Somit können Wissenschaftler und Interessierte Methoden und Werkzeuge zur Erkenntnisgewinnung und Visualisierung verwenden um neues Wissen aus Datensätzen zu schaffen. Das Verständnis dieser Muster trägt dazu bei strategische Änderungen in BSS gezielt umzusetzen. Solch Änderungen betreffen beispielsweise die Verteilung von Docking-Stationen, die Gebührenstruktur oder auch die statische Verteilung von Fahrrädern bei minimaler Auslastung des Systems.

Bordagaray, Dell’Olio, Fonzone und Ibeas definieren in ihrer Arbeit sechs Rahmenbedingungen mithilfe welcher sie die einzelnen Fahrten der vorliegenden Zeitreihe klassifizieren [Bordagaray u. a. (2016)]. Basierend auf den Rahmenbedingungen wurde ein proprietärer ‘Data Mining’-Algorithmus entworfen welcher in einem Fallbeispiel auf ein Datenset eines in der spanischen Stadt Santander ansässigen BSS-Betreibers angewendet wurde. Jede Fahrt wird unter Anwendung des Algorithmus in eine der sechs Kategorien klassifiziert. Mithilfe des Klassifizierungsalgorithmus konnten 47 Prozent der Trips anhand der vorher definierten Rahmenbedingungen eingestuft werden.

Methoden zur Mustererkennung sind auch auf DLBSS anwendbar. So haben Shen, Zhang und Zhao Fahrtdaten des DLBSS-Betreibers Mobike in Singapur analysiert [Shen u. a. (2018)]. Mehrere relevante Faktoren wurden identifiziert welche Einfluss auf die Auslastung des Systems hatten. Offensichtliche Einflussfaktoren wie Wetter, Temperatur und Infrastruktur wurden um Faktoren wie Rabattaktionen erweitert. Es hat sich herausgestellt, dass Rabattaktionen seitens Mobike einen überraschend bemerkbar positiven Einfluss auf die Nutzung des gesamten Systems hatten.

Weiterhin wurden Theorien aufgestellt welche durch die Datenauswertung bestätigt werden konnten. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Flottengröße mit der absoluten Anzahl an Fahrten korreliert. Die Autoren geben an, dass das Verhältnis von Anzahl an verfügbaren Fahrrädern und der Anzahl an Trips, zu einem gewissen Grad linear ist. Betreiber von DLBSS, können ihren Umsatz steigern indem sie die Anzahl der verfügbaren Fahrräder erhöhen [Shen u. a. (2018)].

Explorative Datenanalysen in Verbindung mit Visualisierungstechniken helfen dabei die gewonnenen Kenntnisse an unterschiedliche Zielgruppen zu kommunizieren. Bei der bis zum jetzigen Abschnitt erwähnten Literatur lag der Fokus auf Vermittlung mithilfe von Kennzahlen. Oliveira, Sotomayor, Torchelsen, Torchelsen und Comba analysieren Citibike' BSS in New York auf Verhaltensmuster und visualisieren diese auf einer Landkarte. Hierfür wurden Daten von einem Zeitraum bestehend aus zehn Monaten aggregiert und mithilfe eines GIS visualisiert. Die Autoren sind überzeugt, dass man es Entscheidungsträgern durch Visualisierung der Verhaltensmuster einfacher macht passende Änderungen, welche den Betrieb eines BSS optimieren, zu implementieren [Oliveira u. a. (2016)].

### 1.6.4 Vorhersagemodellierung mithilfe von Machine Learning und Big Data

Die letzte Kategorie der Literaturübersicht beschreibt die einzelnen Arbeiten die die Themen 'Machine Learning' und 'Big Data' in Verbindung mit Fahrradverleihsystemen behandeln.

So beschreiben Caggiani und Ottomanelli in ihrer Arbeit ein Vorhersagemodell welches als 'Decision Support System' (DSS) zu Rebalancierzwecken verwendet werden soll [Caggiani u. Ottomanelli (2013)]. Das DSS basiert auf zwei künstlichen, feed-forward neuronalen Netzwerken (KNN). Das erste KNN wird für die Vorhersage der Anzahl an ausgehenden Fahrrädern für jede Station im BSS verwendet. Das zweite KNN wird wiederum für die Vorhersage der Anzahl an eingehenden Fahrrädern genutzt. Die beiden KNN wurden mit einem historischen Datenset bestehend aus der Anzahl an eingehenden, bzw. ausgehenden Fahrrädern je Zeitintervall trainiert. Die Anzahl der Fahrräder wurde für jedes Zeitintervall aggregiert. Hinzu kamen noch Variablen

welche das Datum und Wetter zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb des Zeitintervalls abbilden. Damit das DSS eine Vorhersage tätigen kann ist es für den Anwender erforderlich das Datum samt einer Wettervorhersage als Input anzugeben. Das DSS liefert darauffolgend die Anzahl an ausgehenden und eingehenden Fahrrädern für alle Station des BSS zum angefragten Zeitpunkt.

Datta beschreibt in seiner Abschlussarbeit unterschiedliche ‘Machine Learning’-Algorithmen welche auf Performanz und Vorhersagepräzision bezogen auf ein BSS-Datenset untersucht werden [Datta (2014)]. Außerdem beinhaltet die Arbeit eine ausgiebige Beschreibung der verwendeten Tools und Software-Bibliotheken mit denen die nötigen Artefakte erstellt wurden. Zum Abschluss der Arbeit wurde ein eigens entwickeltes, web-basiertes Tool vorgestellt welches analog zum im letzten Absatz beschriebenen DSS funktioniert. Der Nutzer wählt ein spezifisches BSS (e.g. Paris) samt Station und das Datum für welches die Vorhersage getätigt werden soll. Eine externe API wird für den Bezug von Wetterinformationen herangezogen. Die Auslastung der jeweiligen Station wird in Form eines Graphen vermittelt.

Der Begriff ‘Big Data’ ist ein Schlagwort der letzten Jahre. Durch die immer billiger werdende Hardware ist es Analysten möglich große Datenmengen kostengünstig zu speichern und zu verarbeiten. Dies betrifft insbesondere historische Daten da diese mit zunehmendem Alter wachsen. Diese Datenmengen können Verhaltensmuster aufzeigen, welche sich über längere Zeiträume gebildet haben. Um solche Datenmengen im Größenbereich von ‘Big Data’ auswerten zu können und ‘Machine Learning’-Algorithmen anzuwenden ist es nötig dafür entwickelte Technologien, wie zum Beispiel Apache’ Hadoop und das darunterliegende verteilte Datensystem (HDFS) zu verwenden.

Jia, Xie, Gao und Yu stellen in ihrer Arbeit ein ‘Big Data’-Framework für die Analyse von großen BSS-Datenmengen vor [Jia u. a. (2017)]. Der Beitrag ihrer Arbeit liegt in der Strukturierung der einzelnen Workflows welche für die Bearbeitung und Auswertung der Daten notwendig sind. Durch die Strukturierung der Arbeitsabläufe ist es möglich strukturierte und unstrukturierte Daten performant auszuwerten.

## 2 Explorative Datenanalyse

### 2.1 Citybike Wien

‘Citybike Wien’ (CBW) ist ein stationsbasierter, seit 2003 tätiger ‘Bike Sharing’-Dienst welcher von der Gewista GmbH betrieben wird. Die Gewista GmbH ist in erster Linie eine Werbegesellschaft welche Werbeflächen vermietet und mehrheitlich zum französischen ‘JC Decaux’-Konzern gehört [o.V. (e)]. Dadurch verfolgt die Gewista GmbH beim Betrieb von ‘Citybike Wien’ ein hybrides Finanzierungsmodell bei dem sich das System aus Werbeeinnahmen und Nutzerbeiträgen finanziert. Werbung wird auf Fahrrädern platziert, welche konstant in Bewegung sind wodurch eine möglichst breite Masse an Konsumenten erreicht werden soll.



Abbildung 2.1: Verteilung der insgesamt 120 Stationen

Das CBW-Team besteht laut offizieller Angaben aus insgesamt sechzehn Mitarbeitern, welche für den Betrieb des Systems zuständig sind [o.V. (f)]

Seit Beginn des Betriebs in 2003 wurde das System bis hin zu 2009 auf Kosten der Gewista GmbH betrieben. 2007 veranlasste die Stadt Wien eine erste Erweiterung auf eigene Kosten des bis dahin bestehenden Stationennetzwerkes um zusätzliche fünf Stationen. Zu dem Zeitpunkt bestand das Netzwerk aus 50 Stationen. Eine zweite Erweiterung bei welcher sechs Stationen

erbaut wurden folgte ein Jahr darauf. Die beiden Erweiterungen wurden mit insgesamt 500 000 Euro subventioniert. Durch die steigende Beliebtheit von CBW hat sich die Stadt Wien entschieden das bestehende Netzwerk von 62 Stationen auf 120 Stationen zu erweitern. Ein Vertrag mit der Gewista GmbH wurde erarbeitet und der Ausbau von 58 Stationen zwischen 2010 und 2012 wurde mit insgesamt 2 532 044 € subventioniert. Die genannten Daten stammen aus einem Bericht des Kontrollamtes der Stadt Wien [Kontrollamt Wien]. Die sprunghafte Erweiterung wurde durch die Erreichung der gesetzten Klimaziele für 2020 motiviert und durch die Tatsache, dass die Anzahl der Stationen positiv mit der Anzahl der Fahrten korreliert.

Das System besteht zum jetzigen Zeitpunkt (August 2018) aus 120 Stationen. Die Stationsdaten wurden aus der öffentlich verfügbaren Web-API bezogen. Die Stationen unterscheiden sich, unter anderem in der Anzahl der verfügbaren Docks. So hat die größte Station vierzig Stellplätze wobei die kleinste Station aus nur zehn Docks besteht. Aufsummiert stellen die Stationen 3079 Docks zur Verfügung in denen Fahrräder des Systems entliehen und retourniert werden können.

Eine Aussage zur Anzahl der zum jetzigen Zeitpunkt verfügbaren Fahrräder hätte wenig Aussagekraft da sich diese, im Gegensatz zu den Stationsdaten, dynamisch ändert. So beeinflussen die Jahreszeit, die Wetterbedingungen und weitere Faktoren die Anzahl der aktiven Fahrräder im System.

Interessierte Nutzer können sich über eine Docking-Station oder direkt über die CBW-Webseite registrieren. Für die Registration an einer Docking-Station ist eine Kreditkarte oder Bankomatkarte notwendig. Als zusätzlichen Dienst bietet CBW die sogenannte ‘Citybike Card’ [o.V. (g)]. Bei dieser Variante muss sich der Benutzer über die Webseite registrieren und schriftlich einer Einzugsermächtigung einwilligen. Nachdem die Einwilligung bei CBW eingegangen ist wird dem Nutzer eine Karte zugeschickt mit welcher dieser Fahrräder entleihen kann. Die Gebühren werden direkt vom Konto abgebucht. Um das System für Touristen attraktiver zu gestalten stellt CBW eine ‘Tourist Card’ zur Verfügung. Diese kann für eine Gebühr von 2,5 Euro ausgeliehen werden. Bei Rückgabe der Karte werden anfallende Fahrtpreise beglichen.

Zusätzlich zu dem BSS betreibt die ‘Gewista GmbH’ sogenannte Radservicestationen. Bei den Stationen können beliebige Fahrräder serviciert und repariert werden [o.V. (h)]. Die einzelnen Stationen sind mit Werkzeugen ausgestattet mit denen sich kleine technische Defekte beheben lassen. Somit können auch nicht CBW-Kunden von der bestehenden CBW-Infrastruktur profitieren.

### 2.1.1 Kostenmodell von Citybike Wien

CBW verfolgt einen progressiven Kostenplan [o.V. (i)]. Das bedeutet, dass man ein Fahrrad für die erste Stunde kostenlos nutzen kann. Sollte der Nutzer das Bedürfnis haben das Fahrrad auch nach Ablauf der ersten Stunde zu behalten fällt eine Gebühr von einem Euro an. Für die dritte Stunde sind es zwei Euro. Jede weitere Stunde kostet vier Euro. Für eine Nutzungsdauer von vier Stunden fallen somit sieben Euro an. Bei der ersten Anmeldung im System wird eine Gebühr von einem Euro verrechnet, diese wird allerdings bei der ersten Fahrt wieder gutgeschrieben sollte das Limit der einen Stunde überschritten werden. Im Falle, dass ein Fahrrad innerhalb von fünf Tagen nicht zurückgegeben wird fällt eine Pauschale von 600 € an. Eine Gebühr von 20 Euro wird verrechnet, wenn das Fahrrad nicht ordnungsgemäß an einer Docking-Station zurückgegeben wird und frei stehen gelassen wird.

Durch einen progressiven Kostenplan will der BSS-Betreiber sicherstellen, dass die Fahrräder im System zirkulieren und Nutzer diese nicht für zu lange Zeit für sich beanspruchen.

### 2.1.2 Rebalancierungsansatz von Citybike Wien

Um die Umverteilung der Fahrräder innerhalb des Systems besser zu verstehen, wurde der CBW-Betreiber kontaktiert um Einblick in die Rebalancierungsstrategie zu bekommen. An dieser Stelle möchte ich mich bei dem Betreiber herzlich bedanken.

CBW verwendet drei Lieferwagen mit Anhänger für die Umverteilung von Fahrrädern zwischen einzelnen Stationen. Jeder Lieferwagen kann bis zu zwanzig Fahrräder transportieren. Es wird an Werktagen zwischen 06:00 Uhr und 18:00 Uhr dynamisch rebalanciert. Aus Kostengründen erfolgt keine statische Rebalancierung. Das bedeutet, das System wird bei niedriger Auslastung (e.g. in der Nacht) nicht in einen optimalen Ausgangszustand versetzt. Eine genaue Anzahl an täglichen Fahrten zu Umverteilungszwecken konnte vom Betreiber nicht genannt werden da laufend und nach Bedarf umverteilt wird.

Laut dem Betreiber unterstützen die Fahrten des 'Citybike Uphill Team' die Umverteilung, allerdings wird dadurch das Umverteilungsteam nicht merklich entlastet. Es wird die selbe Anzahl an Schichten wie zuvor gefahren.

### 2.1.3 'Citybike Wien'-Datensatz für die Jahre 2016 und 2017

Für die explorative Datenanalyse mithilfe der Python-Bibliothek Pandas wurden Fahrtdaten für die Jahre 2016 und 2017 vom CBW-Betreiber angefragt. Im Gegensatz zu vielen anderen BSS-Betreibern stellt CBW aus Datenschutzgründen keine Fahrtdaten öffentlich zur Verfügung. Nach Absprache und Zustimmung zu einer Erklärung zur Datenüberlassung wurden die angeforderten Daten zu Auswertungszwecken temporär zur Verfügung gestellt.

Oft lassen sich durch Inferenz Rückschlüsse aus anonymisierten Daten über die Identität einer konkreten Person machen. Laut Sweeney ist es möglich die Mehrheit der 'U.S.'-Bevölkerung anhand von einfachen, auf den ersten Blick anonymen demographischen Daten zu identifizieren. So lassen sich 87 Prozent der 'U.S.'-Amerikaner anhand des Geburtsdatums, Geschlechts und der Postleitzahl eindeutig bestimmen [Sweeney (2000)]. Deshalb ist es positiv anzuerkennen, dass der Betreiber von CBW die Daten der Kunden schützt und nicht wie viele andere BSS-Betreiber online zur Verfügung stellt.

Daten für das Jahr 2018 sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht verfügbar da sich diese, nach Aussage des Betreibers im operativen System befinden und erst zu Jahresende exportiert werden. Der Datenexport würde zu einer erhöhten Systemauslastung führen welche die Funktionalität des Livesystems beeinträchtigen würde. Die Daten für das Jahr 2018 wären insofern interessant um zu sehen welchen Einfluss die DLBSS-Konkurrenz (ofo, oBike) auf die Auslastung des Systems hatte.

Insgesamt wurden zwei unterschiedliche Datensätze im CSV-Format bereitgestellt. Die Fahrtdaten für die Jahre 2016 und 2017 setzen sich aus folgenden Feldern zusammen:

1. **Startdatum:** Genauer Startzeitpunkt der Fahrt (Fahrrad entnommen)
2. **Enddatum:** Genauer Endzeitpunkt der Fahrt (Fahrrad retourniert)
3. **Anfangsstation\_ID:** ID der Station an der das Fahrrad entnommen wurde
4. **Endstation\_ID:** ID der Station an der das Fahrrad retourniert wurde
5. **Fahrrad\_ID:** Eindeutige ID des entliehenen Fahrrades
6. **Subscriber\_ID:** Verschlüsselte ID des Nutzers

Bei der Subscriber\_ID handelt es sich um einen personenbezogenen Datensatz und daher wurde die ID verschlüsselt. Die Werte in der Spalte Subscriber\_ID setzen sich daher aus Hash-Werten der originalen Subscriber-ID zusammen. Für die folgende Datenauswertung sind keine personenbezogenen Daten erforderlich und es wurden daher auch keine Rückschlüsse auf die Identität einer bestimmten Person gemacht.

Das unbereinigte Datenset beinhaltet **1 066 703** Einträge für das Jahr 2016 und **1 013 369** Einträge für 2017. Jeder einzelne Eintrag gleicht einer Entleiherung.

Ein weiteres Datenset welches die Stationsdaten beinhaltet musste über die Web-API bezogen werden. Die Schnittstelle befindet sich unter der URL: [http://dynamisch.Citybikewien.at/Citybike\\_xml.php](http://dynamisch.Citybikewien.at/Citybike_xml.php) und liefert Echtzeitdaten zu den einzelnen Stationen. Da im gelieferten Datenset die Stationen anhand einer ID gekennzeichnet sind ist es erforderlich den Namen der einzelnen Stationen aus der Web-API stammenden XML-Datei zu beziehen.



## 2.2 Einblicke samt Fragestellungen und Vorgehen

### 2.2.1 Grobe Datentransformation

Für die Auswertung war es notwendig die vorhandenen Daten anzupassen. Die verwendete Python-Bibliothek Pandas wurde in erster Linie für die Analyse von Finanzdaten entworfen und eignet sich daher gut für die Bearbeitung von Zeitreihen.

Zuerst gilt es die Daten zu bereinigen. Für die Auswertung wurden nur Fahrten herangezogen welche länger als zwei Minuten dauern und bei denen zugleich die Anfangsstation nicht der Endstation gleicht. Bei dieser Art von Fahrten wird davon ausgegangen, dass der Nutzer kurzfristig seine Meinung geändert hat und das Fahrrad retourniert hat. Nach Löschung der unbrauchbaren Daten steht ein Gesamtdatenset von **1 897 764** Fahrten für die beiden Jahre zur Verfügung.

Der zweite Schritt besteht darin die Fahrtdauer je Fahrt zu berechnen. Hierfür wird eine neue Spalte angelegt mit dem Namen 'Fahrtdauer' welche die Differenz zwischen Enddatum und Startdatum angibt. Durch Feststellung der Fahrtdauer lassen sich Rückschlüsse auf Fahrtkosten machen da das Kostenmodell bekannt ist. Da nun das nötige Datenset, mit den erforderlichen Dimensionen zur Verfügung steht kann mit der Basisauswertung begonnen werden.

### 2.2.2 Basisauswertung

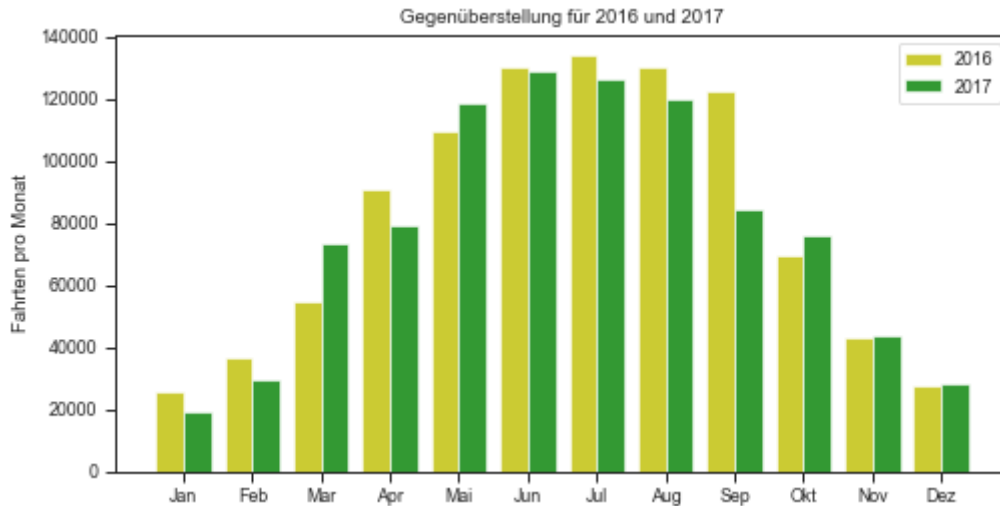


Abbildung 2.2: Balkendiagramm samt Verteilung der Fahrten pro Monat

Im oberen Diagramm ist die Verteilung der Fahrten zu erkennen. Es ist ersichtlich, dass das System in den Sommermonaten natürlicherweise am stärksten ausgelastet ist. Dies lässt sich hauptsächlich durch günstige Wetterbedingungen und steigende Besucherzahlen erklären. Wie wir später sehen werden deutet die Verteilung von Häufigkeit der Nutzung darauf hin, dass Touristen einen beachtlichen Anteil der Nutzergemeinde ausmachen.

Interessant ist der Einbruch der Nutzung für September 2017 - verglichen mit dem vorherigen Jahr - zu beobachten. Der Grund hierfür ist höchstwahrscheinlich der quasi-gleichzeitige Markteintritt der DLBSS-Anbieter 'ofo' und 'oBike' auf den österreichischen Markt. Ende August 2017 haben die beiden DLBSS-Betreiber aus Asien ihren Dienst in Wien gestartet. Die Auslastung des Systems ist allerdings in den folgenden Monaten (Oktober, November, Dezember) wieder zu vergleichbaren Vorjahreswerten zurückgekehrt.

Das bereinigte Datenset für das Jahr 2016 beinhaltet **972 700** Fahrten und **925 064** Fahrten für das darauffolgende Jahr. Die Anzahl der Fahrten hat sich verglichen mit dem Jahr 2009 mehr als verdoppelt (400 000 Fahrten) [Kontrollamt Wien].

Der Mittelwert der Fahrtdauer beträgt **26 Minuten und 6 Sekunden** für den gesamten Zeitraum. Dadurch lässt sich darauf schließen, dass das System hauptsächlich für kurze bis mittlere Strecken verwendet wird.

Im unbereinigten Datenset konnten 258 719 unterschiedliche Nutzer gezählt werden. Interessanterweise beinhaltet das bereinigte Datenset nur 227 959 Nutzer. Das gleicht einer Differenz von

**30 760** Personen. Mit anderen Worten: Fast **12 %** der Anwender haben das Fahrrad innerhalb der ersten beiden Minuten an der gleichen Station retourniert. Eine Befragung der Nutzer könnte Rückschlüsse auf die relativ hohe Rückgabequote innerhalb der ersten zwei Minuten ziehen wodurch man den Anteil an abgebrochenen Fahrten senken könnte und die Auslastung optimieren würde.

### 2.2.3 Umsatz aus Entleihungsgebühren

Der Betreiber von Citybike Wien, die Gewista GmbH hat sich für ein hybrides Finanzierungsmodell entschieden. Das heißt, dass sich das System nicht nur aus den Beiträgen der einzelnen Nutzer finanziert, sondern auch aus Werbeeinnahmen welche durch die Anzeige von Produktwerbung auf Fahrrädern des Systems erwirtschaftet werden.

Es wird nun der Umsatz welcher durch die Nutzergemeinde des Systems entstanden ist ermittelt. Dies ist durch die Kenntnis des Kostenmodells und der Länge der einzelnen Fahrten möglich. Die Anmeldegebühr von einem Euro wird nicht mit in die Berechnung miteinbezogen da aus dem Datenset nicht bekannt ist wann sich der Nutzer das erste Mal registriert hat. Somit könnte es sein, dass die Anmeldegebühr nicht in den Jahren 2016 oder 2017 verrechnet wurde.

Außerdem verrechnet der Betreiber von Citybike Wien eine Gebühr von 20 Euro sollte der Nutzer das Fahrrad nicht an einer Docking-Station retournieren. Wahrscheinlich wurden Fahrten welche nicht an einer Docking-Station beendet wurden mit der 'Endstation\_ID' 11 markiert. Hierfür spricht die Tatsache, dass es keine Station mit der Kennzahl 11 im Datenset gibt und es sich somit möglicherweise um einen Platzhalter für freistehende Fahrräder handelt welcher vom CBW-System vergeben wird sobald eine Fahrt nicht ordnungsgemäß beendet wird.

Um den Umsatz zu berechnen wurden zwei neue Spalten zum Datenset hinzugefügt. Und zwar handelt es sich um die Spalten 'Fahrtpreis' und 'Gebuehr'. Der Fahrtpreis leitet sich direkt von der Fahrtzeit ab und die Gebühr gibt an ob das Fahrrad ordnungsgemäß an einer Station abgegeben wurde und enthält entweder den Wert 0 oder 20. Die beiden Spalten werden aufsummiert wodurch sich ein Jahresumsatz von **206 331 €** für das Jahr 2016 ergibt. Für das Jahr 2017 ergab sich ein Umsatz von **202 436 €**.

Die Summen gelten als Orientierungshilfe da die Einnahmen für die am Anfang anfallende Registrierungsgebühr nicht miteingerechnet wurden. Das System weist einen beachtlichen Anteil an einmaligen Nutzern auf - mehr dazu im folgenden Abschnitt. Es ist daher wahrscheinlich, dass bei vielen Fahrten die Grenze von einer Stunde nicht überschritten wurde was dazu führt, dass die Registrierungsgebühr nicht gutgeschrieben wird insbesondere bei einmaligen Nutzern.

Um genauer zu sein: Nur **7,7 %** der Fahrten haben die Grenze der einen Stunde innerhalb der beiden Jahre überschritten und waren somit kostenpflichtig.

Die Umsatzzahlen lassen darauf schließen, dass die operativen Kosten die beim Betrieb des Systems anfallen die Einnahmen seitens der Nutzergemeinde mehrmals übersteigen. Zu den operativen Kosten zählen alle Betriebskosten sowie anfallende Lohnkosten. Die Subventionsmaßnahmen der Stadt Wien wurden in einem früheren Abschnitt angesprochen. Wie schon erwähnt wurden die Betriebskosten von 2003 bis 2009 ganz vom Betreiber gedeckt und das System hat sich über einen längeren Zeitraum bewährt. Daher ist davon auszugehen, dass CBW in der Lage ist sich durch das hybride Finanzierungsmodell zu finanzieren obwohl der Dienst für Nutzer mehrheitlich kostenlos ist.

**Offensichtlich ist das Gebührensystem nicht als zentrale Umsatzquelle gedacht sondern dazu da Fahrverhalten zu steuern und Nutzer zu kurzen Fahrten zu motivieren.** Somit kann man davon ausgehen, dass Werbeeinnahmen eine ausschlaggebende Rolle für die Finanzierung des Systems spielen und den Großteil der Kosten decken.

### 2.2.4 Kategorisierung der Nutzer nach Verwendungshäufigkeit für beide Jahre

Um besseres Verständnis von der Nutzergemeinde zu bekommen werden die einzelnen Subscriber in Kategorien nach Nutzungsvorkommen eingeteilt. Hierfür wurde das gesamte Datenset nach der Subscriber\_ID gruppiert und die Fahrten je Gruppe unter Anwendung einer Aggregatfunktion gezählt. Es wurde somit für jede Subscriber\_ID die Anzahl der Fahrten ermittelt. Darauffolgend wurde mithilfe einer eigens definierten Funktion eine neue Spalte 'Kategorie' zum bestehenden Datenset hinzugefügt. Anhand der hinzugefügten Spalte lässt sich jede Fahrt einer Kategorie zuordnen.

Die Kategorie gibt an für wie viele Fahrten ein Nutzer das System verwendet hat.

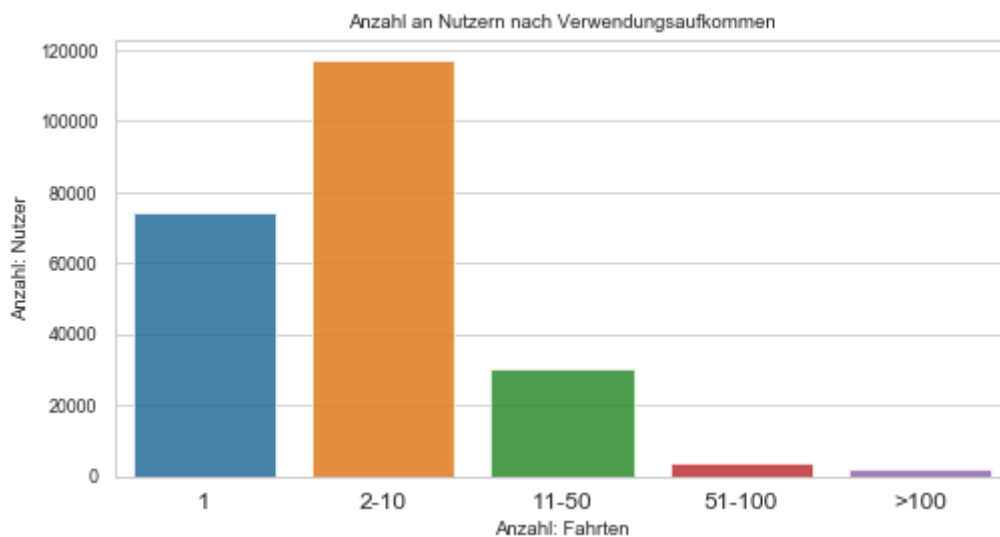


Abbildung 2.3: Nutzer kategorisiert nach Verwendungsaufkommen

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass die Menge an Nutzern aus einem wesentlichen Anteil an Gelegenheitsnutzern besteht. Um das zu relativieren: **32,7 %** der Nutzer haben das System innerhalb von zwei Jahren für nur eine Fahrt verwendet. Die größte Gruppe bildet die Kategorie mit zwei bis zehn Fahrten. **51,3 %** der Nutzer fallen in diese Nische.

Die häufig seltene Nutzung des Systems deutet darauf hin, dass Touristen eine zentrale Rolle für die Auslastung von CBW spielen. Somit macht es Sinn, dass der Betreiber von CBW die Eintrittshürde für Touristen durch die schon früher erwähnte 'Tourist Card' senken will.

Immerhin benutzen **13,3 %** der Anwender das System regelmäßig (11-50) und **1,7 %** der Anwender häufig (51-100). Es ist interessant zu sehen, dass es auch Nutzer gibt welche das System intensiv nutzen. So haben **0,92 %** der Nutzer das System innerhalb von zwei Jahren für

mehr als hundert Fahrten verwendet. Der Anwender mit den meisten Entleihungen hat innerhalb von einem Zeitraum von zwei Jahren **1790 (!)** Fahrten unternommen. Durchschnittlich gleicht dies **2,55** Entleihungen täglich. Es wurden acht weitere Nutzer ausfindig gemacht, welche die Grenze von 1000 Fahrten innerhalb von zwei Jahren überschritten haben. Es ist davon auszugehen, dass die Fahrten von Einzelpersonen unternommen wurden da man als registrierter Nutzer zu einem Zeitpunkt je ein Fahrrad entleihen kann.

Der Nutzer mit den meisten Fahrten hat für die Nutzung des Systems **98 €** bezahlt, da bei 98 Entleihungen die Grenze von einer Stunde überschritten wurde. Eine Fahrt die länger als zwei Stunden gedauert hätte gab es nicht. Im Schnitt kostete somit jede Fahrt **5,5 Cent**. Dieses einfache Beispiel gilt als Referenz, dass CBW eine kostengünstige Verkehrsalternative darstellt.

### 2.2.5 ABC-Analyse der Stationen nach Anteil am Verkehr

In vorherigen Abschnitten wurde der Fokus der Analyse auf das Anwenderverhalten gesetzt. Nun gilt es das System aus räumlicher Perspektive zu betrachten. Insbesondere wie sich die Auslastung des Gesamtsystems auf einzelne Stationen über das Stadtgebiet verteilt.

Um besseres Verständnis für die Verteilung der Fahrten aus räumlicher Perspektive zu bekommen wurde eine ABC-Analyse vorgenommen. Bei einer ABC-Analyse handelt es sich um ein Analyseverfahren bei dem eine Menge an Objekten in die Kategorien A, B oder C eingeteilt wird. Dementsprechend wurden die insgesamt 120 Stationen in die entsprechenden Kategorien nach Anteil der Fahrten je Station am Gesamtvolumen für beide Jahre eingeteilt.

Hierfür wurde die Anzahl der ausgehenden Fahrten von der Anzahl der eingehenden Fahrten getrennt untersucht. Zuerst wurde die Anzahl der ausgehenden Fahrten für jede Station determiniert indem man nach der Spalte 'Anfangsstation\_ID' gruppiert und die Anzahl der Elemente innerhalb jeder Gruppe feststellt. Danach wird der Quotient aus der Anzahl der Fahrten für jede Station mit der Gesamtanzahl an Fahrten für beide Jahre gebildet. Das erste Diagramm bildet die Verteilung der Anteile je Station für ausgehende Fahrten ab.

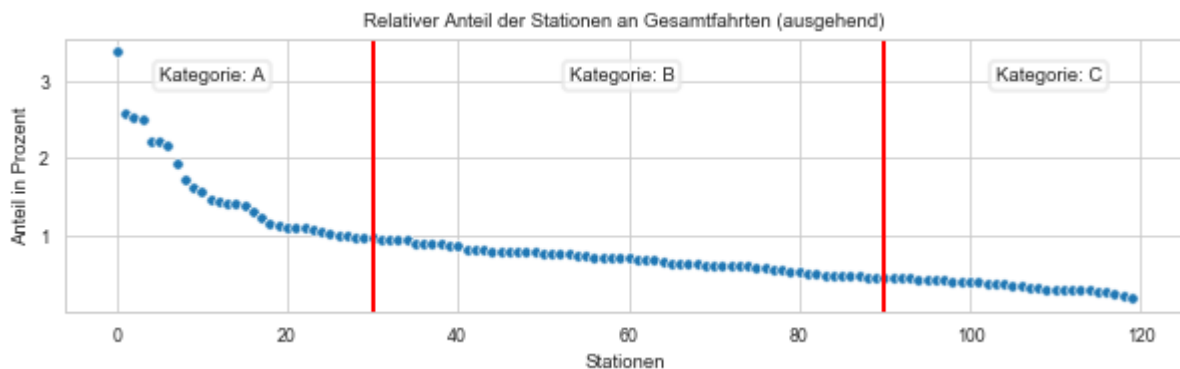


Abbildung 2.4: Grafik der Verteilung an ausgehenden Fahrten am Gesamtvolumen je Station

In der ersten Kategorie befinden sich **dreißig Stationen** denen **46,7 %** der ausgehenden Fahrten zuzuschreiben ist. Somit ist ein viertel der insgesamt 120 Stationen für fast die Hälfte des ausgehenden Verkehrs verantwortlich. Anhand der obigen Abbildung lässt sich klar erkennen, dass Stationen in Kategorie A einen verhältnismäßig signifikanten Einfluss auf das System als Ganzes haben. Kategorie B besteht aus **sechzig** Stationen welche einen kumulativen Anteil von **41,7 %** haben und somit eine mittelmäßige Auswirkung auf die Auslastung haben. Das Schlusslicht bildet die Kategorie C bestehend aus **dreißig** Stationen welche für nur **10,4 %** des Verkehrs verantwortlich sind.

Das untenstehende Diagramm bildet die drei Kategorien für alle eingehenden Fahrten ab. Die Motivation hinter der getrennten Anzeige der Anzahl für eingehende und ausgehende Fahrten galt der Untersuchung der Unterschiede für beide Richtungen. So hätte es sein können, dass der Graph für eingehende Fahrten augenscheinlich von dem für ausgehende abweicht was auf eine stark asymmetrische Nutzung des Systems deuten würde.

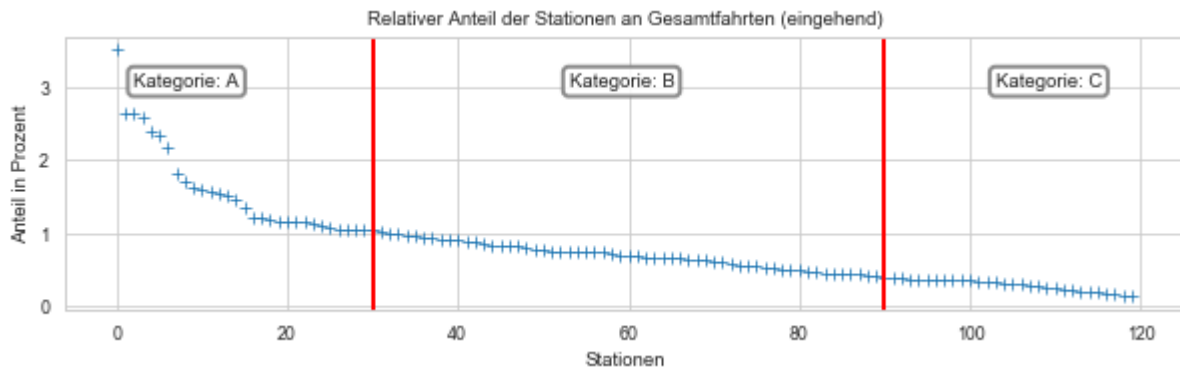


Abbildung 2.5: Grafik der Verteilung an eingehenden Fahrten am Gesamtvolumen je Station

Offensichtlich ist dem nicht so und es lässt sich anhand Abbildung 2.5 erkennen, dass die Nutzung des Gesamtsystems balanciert ist da der Kurvenverlauf der zweiten Abbildung dem Kurvenverlauf der ersten stark ähnelt.

Die ABC-Analyse hilft es dabei die wichtigsten Stationen im System ausfindig zu machen und dementsprechend eine passende Strategie für die Verwaltung des Gesamtsystems zu wählen. Da Betreibern in der Regel nur begrenzte Ressourcen für den Betrieb eines BSS zur Verfügung stehen sollten diese Ressourcen bestmöglich eingesetzt werden. Durch Priorisierung der Stationen können BSS-Betreiber passende Rebalancierungsstrategien für unterschiedliche Kategorien wählen wodurch Ressourcen besser alloziiert werden was wiederum zu erhöhter Anwenderzufriedenheit und Auslastung führt.

Die Ergebnisse der ABC-Analyse beantworten nicht die Frage wie Fahrräder umverteilt werden sollen, sondern wo Ressourcen am meisten zum Einsatz kommen.

## 2.2.6 Visualisierung der aus der ABC-Analyse stammenden Ergebnisse

Es liegt nahe zu vermuten, dass es einen Zusammenhang zwischen der räumlichen Verteilung der einzelnen Stationen und der Zugehörigkeit zu einer Kategorie geben wird. Um diese Theorie zu bestätigen oder zu widerlegen werden die Stationen innerhalb der Kategorien auf einer Landkarte des Stadtgebiets abgebildet.



Wie wir anhand der letzten beiden Diagramme gesehen haben ist die Abweichung zwischen der Anzahl für eingehende und ausgehende Fahrten nicht allzu signifikant. Dementsprechend wird die Anzahl der ausgehenden und eingehenden Fahrten nicht alleinstehend betrachtet sondern stattdessen ein Mittelwert der beiden Zahlen gebildet. Dieser Mittelwert wird für die Abbildung der Stationen herangezogen und die ABC-Analyse erneut mithilfe des neuen Wertes ausgeführt.



Abbildung 2.6: Stationen in Kategorie: A

Nicht überraschenderweise befinden sich die am stärksten ausgelasteten Stationen im Stadtzentrum, entlang der Mariahilfer Straße und in der Nähe von wichtigen Verkehrsknotenpunkten. Dies belegt auch die Theorie, dass Touristen eine der wichtigsten Nutzergruppen darstellen da sich ein großer Teil der Sehenswürdigkeiten im Stadtzentrum befindet und dementsprechend gut mit dem Fahrrad erreichbar ist.



Abbildung 2.7: Stationen in Kategorie: B

Bei Stationen innerhalb der Kategorie B ist zu erkennen, dass diese das Gebiet außerhalb von

Kategorie A abdecken und somit einen Gürtel um das Kerngebiet bilden. Diese Erkenntnis deckt sich mit der Annahme, dass die Intensität der Nutzung abnimmt je weiter man sich vom Kerngebiet entfernt.



Abbildung 2.8: Stationen in Kategorie: C

Auch bei Stationen der dritten Kategorie ist ein räumliches Muster zu erkennen. Und zwar befinden sich die am wenigsten genutzten Stationen mehrheitlich in Wohngebieten außerhalb des Gürtels. Möglicherweise wurde das Potential dieser Wohngebiete bei der strategischen Planung der Stationsverteilung überschätzt.

Es ist also zu erkennen, dass die einzelnen Kategorien voneinander klar unterscheidbar sind und unterschiedliche Gebiete abdecken. Stationen aus Kategorie A bilden den Kern des Systems wobei Kategorie B einen Gürtel um dieses Kerngebiet bildet. Zusammen sind die ersten beiden Kategorien für den Großteil des Verkehrsaufkommens verantwortlich und es ist ein räumlicher Zusammenhang zwischen der Verteilung der Stationen dieser beiden Kategorien zu erkennen. Stationen aus Kategorie C beschränken sich mehrheitlich auf Wohngebiete außerhalb des Wiener Gürtels.

### 2.2.7 Verteilung der Produzenten und Konsumenten

Im vorherigen Abschnitt wurde die Dynamik des Systems nach Verteilung der Fahrten je Station und Gebiet untersucht. Nun wird die Dynamik anhand der Verschiebungen von Fahrrädern zwischen den Stationen des Systems über den gesamten Zeitraum untersucht. Die Vermutung liegt nahe, dass Stationen welche sich am Rand des Systems befinden von Nutzern eher für ausgehende Fahrten verwendet werden und Stationen im Zentrum eher als Endstationen agieren.

Stationen bei denen die Anzahl der ausgehenden Fahrten größer der Anzahl der eingehenden Fahrten ist werden als **Produzenten** bezeichnet [O'Mahony u. Shmoys (2015)]. Hingegen werden Stationen welche überwiegend als Endstationen verwendet werden **Konsumenten** genannt. Die Anzahl und Verteilung von Produzenten und Konsumenten im System gibt Aufschluss zum Grad der asymmetrischen Nutzung innerhalb des Systems.

Um die einzelnen Stationen als Produzent oder Konsument zu kategorisieren wurde der Quotient aus eingehenden und ausgehenden Fahrten berechnet. Im Falle, dass der Quotient größer als 1 ist, handelt es sich um einen Produzenten da die Anzahl der ausgehenden Fahrten größer der Anzahl der eingehenden Fahrten ist. Analog dazu wurden Stationen als Konsumenten eingestuft, wenn der Quotient kleiner als 1 ist.



Abbildung 2.9: Verteilung der Produzenten (rot) und Konsumenten (schwarz)

Abbildung 2.9 zeigt die Verteilung der beiden Kategorien auf dem Stadtgebiet. Wie vermutet ist ein klares Muster bei der Verteilung zu erkennen. So konnten Stationen in den Außenbezirken als Produzenten eingestuft werden. Stationen im Kerngebiet werden hingegen überwiegend als Endstationen genutzt. Eine Ausnahme bilden die Stationen im Bezirk Margareten und in der Nähe vom Schönbrunner Schlosspark.

Es muss erwähnt werden, dass die Zusammensetzung der Produzenten und Konsumenten nicht statisch ist sondern in unterschiedlichen Zeithorizonten variieren wird.

Zum Abschluss dieses Unterkapitels wird das Ungleichgewicht an ausgehenden und eingehenden Fahrten anhand einer Heatmap visualisiert. Je größer das Ungleichgewicht desto höher sind die Anforderungen an die Umverteilung von Fahrrädern und daher die Ressourcenanforderungen.



Abbildung 2.10: *Das Ungleichgewicht an ausgehenden und eingehenden Fahrten*

Mithilfe einer Heatmap lassen sich die Ergebnisse besser darstellen als mit einzelnen Punkten. Die Vermutung liegt nahe, dass Stationen in den Außenbezirken das höchste Ungleichgewicht aufweisen werden. Tatsächlich ist dem so, insbesondere Stationen in Kategorie C weisen das stärkste Ungleichgewicht auf. Dafür sind die Stationen im Kerngebiet gut balanciert was auf gleichmäßige Nutzung oder eine passende Rebalancierungsstrategie hinweist.

Somit konnte die allgemein gültige Annahme, dass Stationen außerhalb des Kerngebietes der Stadt asymmetrisch benutzt werden nachgewiesen werden. Auch das Ungleichgewicht an ausgehenden und eingehenden Fahrten ist bei Stationen in Randgebieten höher. Dies lässt sich einerseits durch die asymmetrische Nutzung seitens der Anwender erklären, möglicherweise aber auch durch eine unterschiedliche Rebalancierungsstrategie durch den Betreiber bei welcher die Stationen im Kerngebiet bevorzugt rebalanciert werden.

Allem Anschein nach werden Stationen der Kategorie C disproportional für ausgehende Fahrten verwendet, wodurch die Ressourcenanforderungen steigen. Diese Erkenntnis in Verbindung mit der Tatsache, dass die Auslastung dieser Stationen relativ niedrig ist deutet darauf hin, dass eine Optimierung des Systems erzielt werden könnte indem man die Anzahl der Station innerhalb der Kategorie C mindert.

### 3 Diskussion

Im Einleitungsteil werden die Funktionsweise, grundlegenden Probleme und Fragestellungen beim Betrieb und Entwurf von Fahrradverleihsystemen erläutert um dem Leser einen Überblick über das Themengebiet von modernen BSS zu verschaffen. Die beschriebene Funktionsweise inklusive einer Zusammenfassung der verwendeten Literatur schaffen eine Basis für die folgende Datenanalyse und ermöglichen ein besseres Verständnis der gewonnen Erkenntnisse.

Im Hauptteil der Arbeit wird auf die Geschichte, Finanzierung und Verbreitung von Citybike Wien näher eingegangen. Das verwendete Datenset wird beschrieben und das Vorgehen bei der Bereinigung und Transformation erläutert.

Die Auswertung setzt sich zwei Schwerpunkte. Zuerst gilt es das Nutzerverhalten besser zu verstehen. Insbesondere konnte festgestellt werden, dass das System einen überraschend hohen Anteil an einmaligen Nutzern aufweist. Die Mehrheit der Anwenderschaft verwendet das System sporadisch und für kurze bis mittlere Strecken.

Die Auslastung des Systems ist in Sommermonaten am höchsten und für beide Jahre stabil. Einzige Ausnahme bildet der September 2017, wo ein starker Rückgang an Fahrten zu bemerken ist. Die Anzahl an Fahrten ist in den Folgemonaten zu Vorjahreswerten zurückgekehrt was darauf hindeutet, dass sich CityBike Wien gegenüber der Dockless-Konkurrenz oBike und ofo bewähren kann.

Auf das Finanzierungsmodell von CBW wird näher eingegangen und eine wichtige Erkenntnis der Analyse war die Tatsache, dass das Gebührensystem nicht als zentrale Umsatzquelle gedacht ist sondern Anwender zu kurzen Entleihungen motivieren soll. Der Dienst ist für Nutzer mehrheitlich kostenlos und finanziert sich hauptsächlich aus Werbeeinnahmen.

Als zweiter Schwerpunkt wird die Dynamik des Systems aus räumlicher Perspektive betrachtet. Anhand der ABC-Analyse werden Stationen ermittelt die einen disproportional hohen Einfluss auf die Auslastung des Gesamtsystems haben. Durch Kategorisierung der einzelnen Stationen kann eine entsprechende Rebalancierungsstrategie gewählt werden um Ressourcen besser zu verteilen. Die räumliche Verteilung von Stationen innerhalb der einzelnen Kategorien folgt einem klaren Muster. Somit konnte die Annahme bestätigt werden, dass Stationen in den Randgebieten, insbesondere in Wohngegenden weniger genutzt werden als Stationen im

Stadtzentrum. Möglicherweise wurde das Auslastungspotenzial von Stationen in Randgebieten bei der strategischen Planung überschätzt.

Die asymmetrische Nutzung des Systems wird aufgezeigt indem Stationen in Produzenten und Konsumenten eingeteilt werden. Insbesondere Stationen welche sich in Randgebieten außerhalb des Wiener Gürtels befinden weisen ein stärkeres Ungleichgewicht an eingehenden und ausgehenden Fahrten auf. Dementsprechend sind die Anforderungen an Umverteilung bei solch Stationen höher. Durch Minderung der Anzahl der Stationen in Kategorie C könnte möglicherweise eine Optimierung des Systems erzielt werden.

Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass es sich bei CityBike Wien um ein ausgiebig genutztes und dementsprechend erfolgreiches Fahrradverleihsystem handelt. Zudem konnte sich CityBike Wien gegenüber Dockless-Fahrradverleihsystemen durchsetzen was auf die Zukunftsfähigkeit des Systems deutet. CityBike Wien schafft Mehrwert für Bewohner und Touristen zugleich und leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Mobilität in Wien.

## Literaturverzeichnis

### **Bordagaray u. a. 2016**

BORDAGARAY, Maria ; DELL’OLIO, Luigi ; FONZONE, Achille ; IBEAS, Ángel: *Capturing the conditions that introduce systematic variation in bike-sharing travel behavior using data mining techniques* (zitiert auf der Seite 12).

### **Caggiani u. Ottomanelli 2013**

CAGGIANI, Leonardo ; OTTOMANELLI, Michele: A Dynamic Simulation based Model for Optimal Fleet Repositioning in Bike-sharing Systems. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.604>. – DOI 10.1016/j.sbspro.2013.10.604. – ISBN 1877–0428 (zitiert auf der Seite 13).

### **Caulfield u. a. 2017**

CAULFIELD, Brian ; O’MAHONY, Margaret ; BRAZIL, William ; WELDON, Peter: Examining usage patterns of a bike-sharing scheme in a medium sized city. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2017.04.023>. – DOI 10.1016/j.tra.2017.04.023. – ISSN 09658564 (zitiert auf den Seiten 4 und 7).

### **Datta 2014**

DATTA, Arnab K.: Predicting bike-share usage patterns with machine learning. (2014) (zitiert auf der Seite 14).

### **Demaio 2009**

DEMAIO, Paul: Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. (2009) (zitiert auf den Seiten 4 und 11).

### **Fricker u. Gast 2012**

FRICKER, Christine ; GAST, Nicolas: Incentives and Redistribution in Homogeneous Bike-Sharing Systems with Stations of Finite Capacity. (2012). <http://dx.doi.org/10.1007/s13676-014-0053-5>. – DOI 10.1007/s13676-014-0053-5. – ISBN 2192–4376 (zitiert auf der Seite 10).

**García-Palomares u. a. 2012**

GARCÍA-PALOMARES, Juan C. ; GUTIÉRREZ, Javier ; LATORRE, Marta: Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach. In: *Applied Geography* (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.07.002>. – DOI 10.1016/j.apgeog.2012.07.002. – ISBN 0143–6228 (zitiert auf der Seite 8).

**Jia u. a. 2017**

JIA, Zhili ; XIE, Gang ; GAO, Jerry ; YU, Shui: Bike-sharing system: A big-data perspective. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2017. – ISBN 9783319520148 (zitiert auf der Seite 14).

**Kim u. a. 2017**

KIM, Junghwa ; CHOI, Keechoo ; KIM, Sukhee ; FUJII, Satoshi: How to promote sustainable public bike system from a psychological perspective? In: *International Journal of Sustainable Transportation* (2017). <http://dx.doi.org/10.1080/15568318.2016.1252450>. – DOI 10.1080/15568318.2016.1252450. – ISSN 15568334 (zitiert auf den Seiten 9 und 11).

**Kontrollamt Wien**

Online erhältlich unter <http://www.stadtrechnungshof.wien.at/berichte/2012/lang/04-01-KA-I-28-1-13.pdf>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf den Seiten 16 und 21).

**Manzi u. Saibene 2017**

MANZI, G. ; SAIBENE, G.: International Journal of Sustainable Transportation Are they telling the truth? Revealing hidden traits of satisfaction with a public bike-sharing service. (2017). <http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ujst20>. – ISSN 1556–8334 (zitiert auf den Seiten iv und 4).

**Médard de Chardon u. a. 2016**

MÉDARD DE CHARDON, Cyrille ; CARUSO, Geoffrey ; THOMAS, Isabelle: Bike-share rebalancing strategies, patterns, and purpose. In: *Journal of Transport Geography* (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.07.003>. – DOI 10.1016/j.jtrangeo.2016.07.003. – ISBN 0966–6923 (zitiert auf den Seiten 8, 9 und 11).

**Oliveira u. a. 2016**

OLIVEIRA, Guilherme N. ; SOTOMAYOR, Jose L. ; TORCHELSEN, Rafael P. ; TORCHELSEN, Cláudio T. ; COMBA, Joao L.: Visual analysis of bike-sharing systems. In: *Computers and Graphics (Pergamon)* (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.cag.2016.08.005>. – DOI 10.1016/j.cag.2016.08.005. – ISSN 00978493 (zitiert auf der Seite 13).



**O'Mahony u. Shmoys 2015**

O'MAHONY, Eoin ; SHMOYS, David B.: Data Analysis and Optimization for (Citi) Bike Sharing. In: *AAAI*, 2015, S. 687–694 (zitiert auf der Seite 30).

**o.V. a**

Online erhältlich unter <https://www.ofo.com/at/de/faq>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 6).

**o.V. b**

Online erhältlich unter <https://www.o.bike/at/faqs/>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 6).

**o.V. c**

Online erhältlich unter <https://www.nextbike.de/de/campusbike/>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 7).

**o.V. d**

Online erhältlich unter <https://www.citybikewien.at/de/so-funktioniert/uphill>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 10).

**o.V. e**

Online erhältlich unter <http://gewista.at/DE/Unternehmen/Leistungsprofil/Leistungsprofil.aspx>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 15).

**o.V. f**

Online erhältlich unter <https://www.citybikewien.at/de/ueber-citybike/team>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 15).

**o.V. g**

Online erhältlich unter <https://www.citybikewien.at/de/so-funktioniert/anmeldung>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 16).

**o.V. h**

Online erhältlich unter <https://www.fahrradwien.at/radservicestation/>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 16).

**o.V. i**

Online erhältlich unter <https://www.citybikewien.at/de/tarife>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 17).

**o.V. 2018a**

Online erhältlich unter [www.bikesharingmap.com](http://www.bikesharingmap.com); abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 1).

**o.V. 2018b**

Online erhältlich unter <https://p.dw.com/p/31HVU>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 6).

**o.V. 2018c**

Online erhältlich unter <https://futurezone.at/digital-life/obike-aus-wien-verschwunden-fahrraeder-bleiben-zurueck/400063697>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 6).

**Raviv u. Kolka 2013**

RAVIV, Tal ; KOLKA, Ofer: Optimal inventory management of a bike-sharing station. In: *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)* (2013). <http://dx.doi.org/10.1080/0740817X.2013.770186>. – DOI 10.1080/0740817X.2013.770186. – ISBN 0740-817X (zitiert auf den Seiten 10 und 12).

**Schuijbroek u. a. 2017**

SCHUIJBROEK, J. ; HAMPSHIRE, R. C. ; HOEVE, W. J.: Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems. In: *European Journal of Operational Research* (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.029>. – DOI 10.1016/j.ejor.2016.08.029. – ISSN 03772217 (zitiert auf den Seiten 9 und 12).

**Shen u. a. 2018**

SHEN, Yu ; ZHANG, Xiaohu ; ZHAO, Jinhua: *Understanding the usage of dockless bike sharing in Singapore* (zitiert auf den Seiten 6 und 13).

**Sun u. a. 2018**

SUN, Feiyang ; CHEN, Peng ; JIAO, Junfeng: Promoting public bike-sharing: A lesson from the unsuccessful Pronto system. (2018). <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2018.06.021>. – DOI 10.1016/j.trd.2018.06.021 (zitiert auf den Seiten 7 und 8).

**Sweeney 2000**

SWEENEY, Latanya: Simple demographics often identify people uniquely. In: *Carnegie Mellon University, Data Privacy Working Paper 3. Pittsburgh 2000* (2000), 1–34. <http://dataprivacylab.org/projects/identifiability/paper1.pdf> (zitiert auf der Seite 18).

**Tchebotarev 2018**

Online erhältlich unter <https://bit.ly/2KquWos>; abgerufen am 4. August 2018. (zitiert auf der Seite 7).

## **Schriftliche Versicherung**

Ich versichere, dass die Arbeit von mir selbständig verfasst wurde und dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Weiterhin wurde diese Arbeit keiner anderen Prüfungsbehörde übergeben.

Wien, den 30. Dezember 2018