Systematische Analyse und Bewertung von Forschungsliteratur und Praxisansätzen für Entscheidungsunterstützung zur Planung und Regulierung von Mikromobilität

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Lulaj Vorname: Dineta

Geb. am: in:

Prüfer: Prof. Dr. Micheal H. Breitner

Hannover, den 03.12.2023

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **III**

Tabellenverzeichnis ..... **IV**

Abkürzungsverzeichnis ..... **V**

1. Einleitung **1**

2. Theoretische Grundlagen **2**

2.1 Shared Mobility 2

2.2 Mikromobilität als Bestandteil der Shared Mobility 4

2.3 E-Scooter 6

2.4 Rahmenbedingungen für die Regulierung von E-Scootern 7

2.4.1 Gesetzliche Vorgaben 7

2.4.2 Steuerungsmöglichkeiten in deutschen Kommunen 8

3. Methodik **11**

3.1 Systematische Literaturanalyse 11

3.2 Empirische Analyse 13

3.2.1 Qualitative Befragungen 13

3.2.2 Vorbereitung und Durchführung 13

3.2.3 Transkription der Interviews 16

3.2.4 Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring 16

4. Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse **17**

4.1 Datenerhebung in der Mikromobilitätsforschung 18

4.2 Aspekte des Nutzungsverhaltens und der Nutzerdynamik 21

4.3 Nachfrageprognosen für E-Scooter 30

4.4 Einfluss der E-Scooter-Nutzung auf bestehende Verkehrssysteme 32

4.5 Auswirkungen auf die Umwelt 38

4.6 Die Rolle der Sicherheit bei der Integration von E-Scootern 45

5. Ergebnisse der empirischen Analyse 54

6. Diskussion der Ergebnisse 70

6.1 Gegenüberstellung Forschung und Empirie 70

6.2 Handlungsempfehlungen 73

7. Zusammenfassung und Ausblick 77

Literaturverzeichnis VII

Anhang A – Vergleich der Unterschiede in den Definitionen der ITF und der SAE XX

Anhang B – Wachstumsverlauf von E-Scootern im historischen Vergleich zu anderen Mobilitätsformen XX

Anhang C – Interviewleitfaden/Fragebogen XXI

Anhang D – Expertenbefragung XXIII

Anhang D.1 – Befragung 1 XXIII

Anhang D.2 – Befragung 2 XXXIII

Anhang D.3 – Befragung 3 XXXIX

Anhang D.4 – Befragung 4 LIII

Anhang D.5 – Befragung 5 LXIX

Anhang D.6 – Befragung 6 LXXIV

Anhang D.7 – Befragung 7 LXXX

Ehrenwörtliche Erklärung XCI

1. Einleitung

Die zunehmende Urbanisierung markiert einen entscheidenden globalen Trend unserer Zeit und bringt weitreichende Veränderungen mit sich. Diese Veränderungen beeinflussen nicht nur unsere Gesellschaft und Wirtschaft tiefgreifend, sondern wirken sich insbesondere auf die Bereiche Umwelt, Verkehr und Mobilität aus. Ein signifikanter Wendepunkt dieser Entwicklung war das Jahr 2007, als erstmals mehr Menschen in städtischen als in ländlichen Gebieten lebten (vgl. Butz 2023, S. 5). Die Vereinten Nationen prognostizieren, dass bis zum Jahr 2050 68 % der Weltbevölkerung in städtischen Gebieten ansässig sein werden und die Anzahl der Megacities deutlich zunehmen wird (vgl. United Nations 2019). Diese Entwicklungen führen zu erhöhten Anforderungen an das Verkehrssystem sowie an die Fahrzeugtechnik für Personen- und Gütertransport, wodurch eine Notwendigkeit für innovative und systemorientierte Lösungsansätze entsteht (vgl. Gutzmer und Todsen 2021, S. 4).

Die zunehmende Bevölkerungsdichte in urbanen Gebieten resultiert in einem steigenden Verkehrsaufkommen, das in einer Überlastung des Straßenverkehrs sowie des öffentlichen Personalverkehrs (ÖPNV) mündet (vgl. Schmidt und Helalli-Milani 2016, S. 20). Stockender Verkehr und Staus sind in urbanen Zentren eher alltägliche Phänomene als seltene Ausnahmen (vgl. Gutzmer und Todsen 2021, S. 4). In deutschen Großstädten verbringen die Menschen durchschnittlich mehr als einen Tag pro Jahr im Stau, was zu volkswirtschaftlichen Verlusten in Höhe von etwa 80 Milliarden Euro jährlich führt (vgl. Meinert et al. 2021, S. 296). Die Konsequenzen des autozentrierten Verkehrssystems werden zunehmend spürbar. Dazu gehören neben den Verkehrsstaus auch eine Zunahme von Emissionen, Luftverschmutzung, Lärm, Platzmangel und Parkplatzproblemen (vgl. Le Bris et al. 2021, S. 26; Aguilera-Garcia et al. 2020, S. 1).

Vor dem Hintergrund dieser vielfältigen Herausforderungen sowie der zunehmenden Bedeutung von Umwelt- und Klimaschutz steigt der Bedarf nach innovativen und nachhaltigen Mobilitätskonzepten (vgl. Vargas Díaz et al. 2019, S. 4; Gutzmer und Todsen 2021, S. 3). Damit einhergehend ist auch ein Wandel der Nutzerbedürfnisse zu beobachten, der eine größere Flexibilität, Verlässlichkeit und Individualität in den Mobilitätsangeboten fordert (vgl. Ruess und Weber 2022, S. 436). Ein praktikabler Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderungen ist die Förderung von Mikromobilität im Rahmen von Sharing-Diensten, die in Kombination mit dem öffentlichen Verkehr eine sinnvolle Ergänzung zum privaten Fahrzeugbesitz darstellen können (vgl. Herrenkind et al. 2020, S. 14). Insbesondere E-Scooter haben sich als neue Form der städtischen Mikromobilität in urbanen Zentren weltweit rasch etabliert und erfreuen sich großer Beliebtheit (vgl. Mathew et al. 2019, S. 4512). Die steigende Nachfrage hat dazu geführt, dass sich eine Vielzahl von Mikromobilitätsunternehmen in den Stadtzentren niedergelassen haben. Diese Entwicklung hat Stadtverwaltungen und Verkehrsplanern nur wenig Zeit gelassen, um Planungs- und Regulierungsstrategien für Mikromobilität zu entwickeln und umzusetzen (vgl. McKenzie 2020, S. 1). Bis heute stehen viele Kommunen vor der Herausforderung, E-Scooter nachhaltig in die bestehende Infrastruktur zu integrieren und effektiv zu regulieren (vgl. DLR und Difu 2022, S. 5). Auf diesen neuen Diensten ruhen jedoch große Hoffnungen, das Thema Mobilität in den Städten nachhaltig positiv zu prägen. Vor diesem Hintergrund zielt diese Arbeit darauf ab, fundierte

beispielsweise zur Mobilität in Deutschland (MiD) oder zum System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV), erfasst werden. Zusätzlich sollten Städte und Betreiber eigene Nutzerbefragungen durchführen, um die lokalen Besonderheiten zu untersuchen. Darüber hinaus bietet ein digitales Abbild des öffentlichen Raums den Städten die Möglichkeit, optimale Abstellzonen für E-Scooter zu definieren und wichtige Infrastrukturmerkmale wie Gehwegbreiten zu berücksichtigen, was eine gezielte Planung unterstützt und Konflikte im öffentlichen Raum minimiert. Ebenso wichtig ist die Verfügbarkeit von Daten über die Umverteilungsphasen der E-Scooter, den Stromverbrauch, die Wartung sowie die Entsorgung. In diesem Kontext sollte erwogen werden, ob Anbieter zur Bereitstellung einer Lebenszyklusanalyse (LCA) der Fahrzeuge verpflichtet werden können, um die Nachhaltigkeit der Dienste zu beurteilen. Des Weiteren wäre es vorteilhaft, Unfalldaten in einer national zugänglichen Datenbank zu erfassen und diese detailliert aufzubereiten. Anbieter könnten zudem verpflichtet werden, Auskunft über Unfälle, Vandalismusschäden und Kundenbeschwerden bereitzustellen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Diese Masterarbeit widmet sich der zentralen Fragestellung, wie E-Scooter sinnvoll in das städtische Mobilitätssystem integriert werden können. Sie richtet sich an Forschende, Kommunen, politische Entscheidungsträger sowie E-Scooter-Anbieter. Um die Forschungsfrage umfassend zu beantworten, wurde ein methodischer Ansatz aus systematischer Literaturanalyse und Expertenbefragungen gewählt. Im Fokus der Untersuchung stehen die Auswirkungen von E-Scootern in den Schlüsselbereichen Nutzungsmuster, Reiseverhalten, Einfluss auf Verkehrssysteme, Umwelt und Verkehrssicherheit. Die verwendeten Analysemethoden werden in einem Katalog dargestellt, der als entscheidendes Werkzeug für Forschende und Planer dient, um notwendige Analysen für eine effektive Planung und Integration von E-Scootern in urbane Mobilitätssysteme durchzuführen. Zusätzlich wurde analysiert, mit welchen Herausforderungen Kommunen bei der Integration von E-Scootern konfrontiert sind und wie sie diese Mobilitätsform in das städtische Verkehrsgefüge einbinden. Ziel ist es, ein sicheres Umfeld für E-Scooter zu schaffen, das Nachhaltigkeit fördert und die Verkehrsbedingungen in Städten verbessert.

Die aus Forschung und Praxis abgeleiteten Handlungsempfehlungen ermöglichen es, fundierte Entscheidungen in Bezug auf E-Scooter-Dienste zu treffen und spielen eine wichtige Rolle bei der erfolgreichen Integration. Die Bandbreite dieser Empfehlungen unterstreicht die Komplexität des Themas und die Vielzahl der betroffenen Themen und Stakeholder. Ein wesentliches Thema ist die rechtliche Situation. Für eine zielführende Regulierung ist eine Einordnung als „Sondernutzung“ erforderlich, die mit einem Auswahl- oder Vergabeverfahren gekoppelt wird. Dabei müssen Vorgaben eingeführt werden, welche die Förderung eines umweltfreundlichen Betriebs gewährleisten. Beispielsweise sollten Maßnahmen wie die Nutzung umweltfreundlicherer Verkehrsmittel für die Umverteilung der Fahrzeuge, die Verwendung von Ökostrom mit entsprechendem Nachweis und die Forderung nach einer Lebenszyklusanalyse der Fahrzeuge durch die Anbieter verpflichtend gemacht werden. Denn obwohl E-Scooter als emissionsfreie Fahrzeuge betrachtet werden, führen sie in der Praxis vergleichsweise oft zu einer höheren Umweltbelastung als jene Verkehrsmittel, die sie ersetzen. Dies ist unter anderem auf nicht nachhaltige Herstellungsverfahren, die verwendeten Materialien und

Komponenten, die kurze Lebensdauer und die logistischen Prozesse, die für das Sammeln und Verteilen der E-Scooter erforderlich sind, zurückzuführen. Weitere rechtliche Aspekte umfassen die notwendigen Anpassungen des Straßenverkehrsgesetzes, der Straßenverkehrsordnung und der Verordnung für Elektrokleinstfahrzeuge, die der Bund zur Regulierung dieser neuen Verkehrsmittel umsetzen muss.
Gleichzeitig ist der Ausbau der Infrastruktur für Mikromobilität entscheidend, um einen stadtverträglichen Betrieb zu gewährleisten und Konflikte sowie Unfälle mit anderen Verkehrsteilnehmern zu minimieren. Für Städte, die eine effektive Förderung von Mikromobilitätslösungen anstreben, ist es dabei zentral, ausreichenden Straßenraum und passende Infrastrukturen, insbesondere in dicht besiedelten urbanen Gebieten, zu gewährleisten. Ein wesentlicher Schritt in diese Richtung ist die Einrichtung von Abstellflächen und Ladestationen für Mikromobilitätsfahrzeuge einschließlich der Umverteilung von Verkehrsflächen sowie der Ausbau und die Verbesserung der Radinfrastruktur. Eine klare Regelung für die Nutzung im Straßenverkehr sowie Aufklärungskampagnen und das Anbieten von Verkehrssicherheitstrainings tragen zur sicheren Integration von E-Scootern bei. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Integration von E-Scootern in den ÖPNV. Hierbei ist eine umfassende Tarifgestaltung, die Einbindung in multimodale Apps und die Schaffung von Abstellflächen an ÖPNV-Haltestellen unerlässlich. Insbesondere in peripheren Gebieten, wo die ÖPNV-Infrastruktur weniger dicht ausgebaut ist, können E-Scooter ihr volles Potenzial als Teil eines nachhaltigen Mobilitätssystems entfalten. In diesen Gebieten können sie effizient als Lösung für die erste und letzte Meile innerhalb intermodaler Wegeketten mit dem ÖPNV genutzt werden und so die bestehenden Lücken in der Mobilitätsversorgung schließen. Allerdings besteht gerade in peripheren Gebieten oft ein Mangel an Mobilitätsangeboten. Um diese Lücke zu schließen und das Potenzial der E-Scooter voll auszuschöpfen, ist es entscheidend, ein flächendeckendes Angebot und eine gezielte Fahrzeugverteilung sicherzustellen. Dies kann effektiv durch die Einführung verbindlicher Regelungen im Rahmen der Sondernutzung realisiert werden.
Die effektive Integration von E-Scootern in urbane Mobilitätssysteme erfordert zudem eine enge Kooperation zwischen städtischen Behörden und E-Scooter-Anbietern. Diese Partnerschaft ist entscheidend, um sowohl die Sicherheit der Bürger zu gewährleisten als auch das volle Potenzial der E-Scooter zu nutzen. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Zusammenarbeit ist der Austausch von Daten, der als Basis für eine datengesteuerte Regulierung dient. Um die Nutzungsmuster und das Mobilitätsverhalten der Nutzer zu verstehen, sind stadtbezogene empirische Untersuchungen unverzichtbar. Diese Forschung bildet die Grundlage für zielgerichtete kommunale Maßnahmen, das Ableiten angepasster Strategien und die Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen. E-Scooter-Anbieter sollten zudem in Kooperation mit den Betreibern des öffentlichen Verkehrs an einem gemeinsamen Konzept arbeiten, um sicherzustellen, dass sich diese Verkehrsträger gegenseitig optimal ergänzen. Eine zielgerichtete und erfolgreiche Regulierung der E-Scooter ist entscheidend, um sie als wertvollen Bestandteil eines klimaverträglichen städtischen Verkehrsangebots zu etablieren.

Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich auf mehrere Schlüsselbereiche fokussieren. Es gilt, die Folgen regulatorischer Richtlinien auf die Nutzung von E-Scootern sowie deren Reiseverhalten zu bewerten. Ebenso sollten die Effekte untersucht werden, die sich aus der Schaffung von Abstellflächen und dem Ausbau der Radinfrastruktur ergeben. Ziel dieser Untersuchungen sollte es sein, zu klären, inwieweit diese Maßnahmen potenziell zur Reduzierung der unsachgemäßen Nutzung von E-Scootern

beitragen können. Ein bedeutendes Forschungsfeld liegt auch in der Untersuchung der Gesamtauswirkungen von E-Scootern auf die Substitution unterschiedlicher Verkehrsträger. Der Einsatz datengesteuerter Methoden und die Auswertung realer Datensätze spielen hier eine zentrale Rolle, insbesondere da diese Dimension bislang nur unzureichend erforscht wurde. Zudem sollte die Forschung über urbane Gebiete hinaus auch ländliche Räume einbeziehen, um das Potenzial von E-Scootern als Zubringer zum ÖPNV dort zu bewerten.

Der Stadtvertreter aus Berlin betont das Potenzial von privat genutzten E-Scootern. In der bestehenden Forschung wurden diese bislang nur unzureichend untersucht. Hier bietet sich ein weites Feld für zukünftige Studien an, die sich mit den Auswirkungen des privaten Besitzes auf das Nutzerverhalten beschäftigen sollten.

Weitere Untersuchungen zu den Umweltauswirkungen von E-Scootern sind erforderlich, insbesondere im Hinblick auf die Wartung, die Reparatur und das End-of-Life-Szenario, einschließlich Recycling und Entsorgung. Diese Aspekte sind essenziell für die umfassende Beurteilung der Nachhaltigkeit von E-Scootern und wurden in der bisherigen Ökobilanzforschung oft vernachlässigt.

Des Weiteren besteht ein erkennbarer Bedarf an experimentellen Methoden in der Unfallforschung von E-Scootern. Hierbei könnten Simulationsstudien zur Wirksamkeit von Schutzausrüstungen oder zur Unfalldynamik beim Überfahren von Bordsteinkanten wertvolle neue Erkenntnisse liefern.

Während Daten aus Krankenhäusern bereits detaillierte Einblicke in Verletzungen und Unfälle im Zusammenhang mit E-Scootern bieten, bleibt das Wissen über die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen des E-Scooter-Fahrens begrenzt. Der Vertreter aus Berlin weist auf das potenzielle Risiko hin, dass die Nutzung von E-Scootern zu einer Verringerung der körperlichen Aktivität führen und somit langfristig negative Gesundheitseffekte haben könnte. Diese Hypothese bedarf weiterführender Studien zur Bestätigung.