

## Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit den hochaktuellen Herausforderungen des Klimawandels, der Urbanisierung, des wachsenden Onlinehandels und des sich verändernden Mobilitätsverhaltens in Städten. Sie stellt sich die Frage, welche Verkehrskonzepte und -strategien dazu beitragen können, diesen Entwicklungen zu begegnen und die damit verbundenen ökonomischen, ökologischen und sozialen Herausforderungen zu bewältigen. In dieser Dissertation wird eine Mobilitätsservice namens „Ride Parcel Pooling“ (RPP) konzeptualisiert und getestet, welcher eine Mitfahrzentrale („Ride-Pooling“) für Passagiere mit klassischen urbanen Paketlogistikdienstleistungen kombiniert. Ziel von RPP ist es, freie Kapazitäten auf ohnehin stattfindenden Personenfahrten zu nutzen und zusätzlich Pakete innerhalb von Städten möglichst effizient und nachhaltig zu transportieren. Durch umfangreiche Analysen, Simulationen und Tests unter realen Bedingungen zeigt diese Forschungsarbeit, dass ein RPP-Mobilitätsservice bereits heute umsetzbar ist und unterstreicht sein Potenzial, die urbane Mobilität in ein nachhaltigeres System zu verwandeln. Neben einer agentenbasierten Verkehrssimulation des RPP-Dienstes verwendet die Arbeit das Konzept des „Life Cycle Sustainability Assessments“ (LCSA), welches die ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen der Einführung von RPP quantifiziert und mit dem Status Quo vergleicht. Die Studie zeigt, dass durch einen RPP-Mobilitätsservice erhebliche Einsparungen in Bezug auf das Treibhauspotenzial, die Betriebskosten der Flotte und die sozialen Auswirkungen erzielt werden können.

## Forschungsansatz

Das übergeordnete Forschungsziel ist die Untersuchung der Integration von Personen- und Güterverkehr für nachhaltige städtische Verkehrssysteme. Ziel dieser Arbeit ist es dabei den Pakettransport in bereits bestehende Fahrzeugrouten von Passagieranfragen zu integrieren und somit die Gesamtfahrstrecke zu minimieren. Diese Arbeit konzipiert dafür den RPP-Service und untersucht seine Auswirkungen und reale Anwendbarkeit mittels Expertenworkshops, Befragungen, einem agentenbasierten Simulationsmodell, einer Lebenszyklus-Nachhaltigkeitsbewertung und einem Praxistest, siehe Abb. 1.

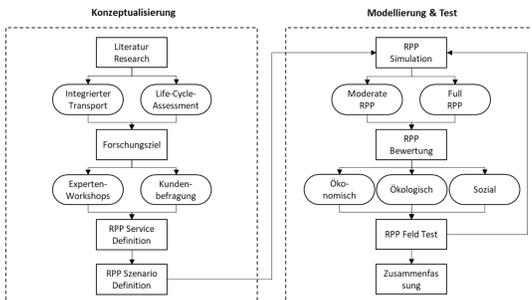


Abb. 1 – Flowchart zu Forschungsansatz und Methodik der Arbeit

**Referenzen:**  
 [1] Fehn, F., Engelhardt, R., Dandl, F., Bogenberger, K., & Busch, F. (2023). Integrating parcel deliveries into a ride-pooling service—an agent-based simulation study. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 169, 103580. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.103580>

## Lösungsansatz und Methode

Während sich bestehende Studien auf die explizite Nutzung der Standzeiten von Mobility-on-Demand (MoD) Flotten für zusätzliche Dienstleistungen konzentrieren und den zusätzlichen Logistikdienst somit als „ad-hoc“ Zustelldienst modellieren, ist das Ziel dieser Arbeit die aktive Integration der Paketsendungen in bereits bestehende Passagierfahrten. Deshalb werden keine expliziten Zeitrestriktionen für die Abholung und Zustellung von Paketen vorgegeben, sondern die Pakete werden in bestehende Routen aus dem zugrundeliegenden Ride-Pooling-Dienst integriert, um die insgesamt gefahrenen Fahrzeugkilometer zu minimieren [1]. Zur Modellierung des RPP-Dienstes wurden im Rahmen von Expertenworkshops und Befragungen drei Simulationsszenarien definiert, siehe Abb. 2.

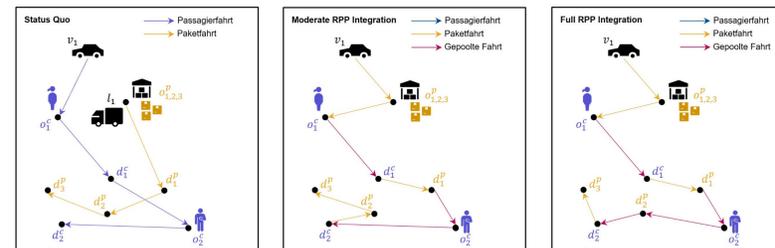


Abb. 2 – Szenarien entwickelt aus Expertenworkshops und Befragungen zur Simulation des RPP-Mobilitätsservices für Passagiere und Pakete

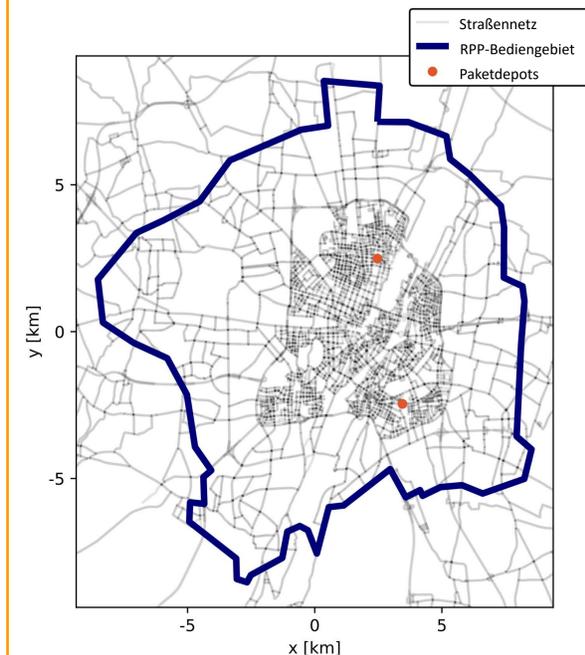


Abb. 3 – Bediengebiet des RPP-Services in der agentenbasierten Simulation

Neben der eingesparten Fahrleistung kann RPP auch einen erheblichen Teil der Logistikflotte überflüssig machen. Durch den RPP-Ansatz werden also nicht nur Kilometer eingespart, sondern es müssen auch weniger Fahrzeuge eingesetzt und somit weniger produziert werden. Um diesen Sachverhalt quantifizierbar zu machen, wird in dieser Arbeit ein Nachhaltigkeitsbewertungstool für Fahrzeugflotten vorgestellt, das mit Hilfe des LCSA-Ansatzes die Effekte von RPP im Vergleich zum Status Quo in den ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimensionen einer urbanen Mobilitätsdienstleistung bewertet, siehe Abb. 6. Die Ergebnisse der agentenbasierten Simulation und der LCSA-Bewertung von RPP zeigen, dass in allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch und sozial) erhebliche Einsparungen erzielt werden können, siehe Abb. 7, Abb. 8 und Abb. 9. Es wird deutlich, dass die Rikscha als RPP-Fahrzeug vor allem in den Dimensionen Ökologie und Soziales den anderen untersuchten Fahrzeugtypen überlegen ist. In der Dimension Ökonomie ist sie aufgrund der höheren Anzahl an benötigten Fahrern die teuerste Variante.

Die agentenbasierte Simulation (FleetPy) des RPP-Mobilitätsservices für München (Abb. 3) belegt, dass die Integration von Logistikdienstleistungen in einen Ride-Pooling-Dienst möglich ist und ungenutzte Systemkapazitäten ausnutzen kann, ohne den Fahrgastenservice zu verschlechtern. Je nach gewählter Zuweisungsstrategie und Fahrzeugkategorie können bis zu einem Verhältnis von 1:10 (Pakete zu Fahrgäste) alle Pakete integriert werden (Abb. 4), während die Gesamtkilometer der Flotte im Vergleich zum Status Quo, d.h. zwei getrennte Flotten für den Personen- und den Pakettransport, reduziert werden können.

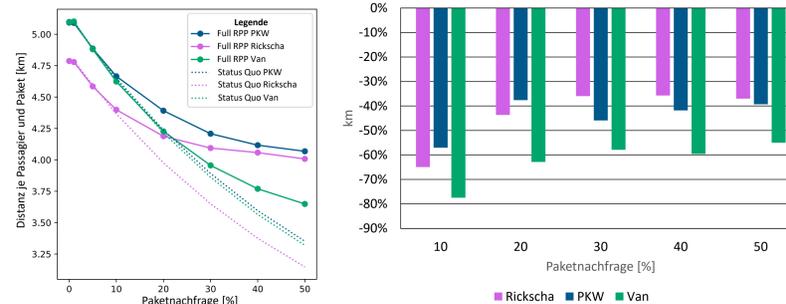


Abb. 4 – Simulationsergebnisse zu Distanzen je Passagier und Paket

Abb. 5 – Simulationsergebnisse der Fahrstreckeneinsparung im Szenario Full RPP im Vergleich zum Status Quo

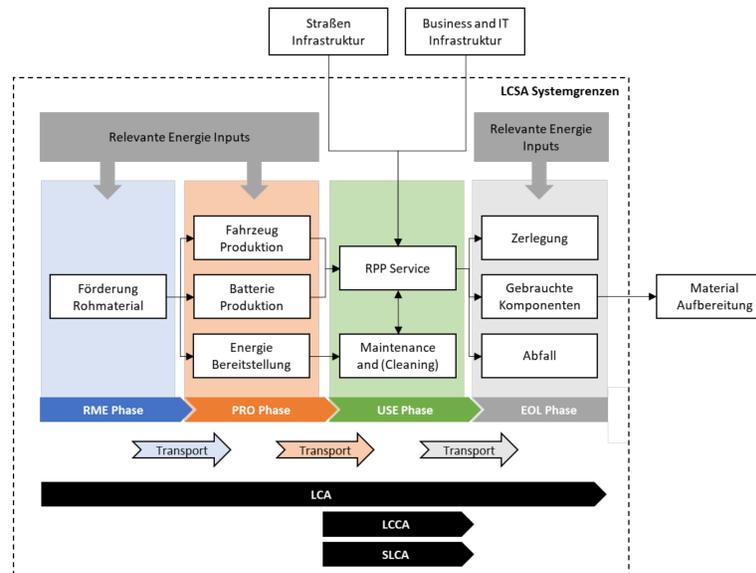


Abb. 6 – Simulationsergebnisse der Fahrstreckeneinsparung im Szenario Full RPP im Vergleich zum Status Quo

## Ergebnisse der LCSA

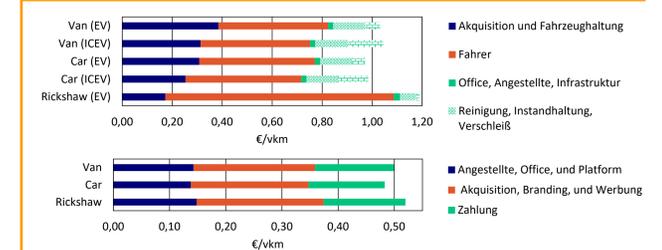


Abb. 7 – Ergebnisse der LCC-Bewertung des Flotten- (oben) und des Plattformbetreibers (unten)

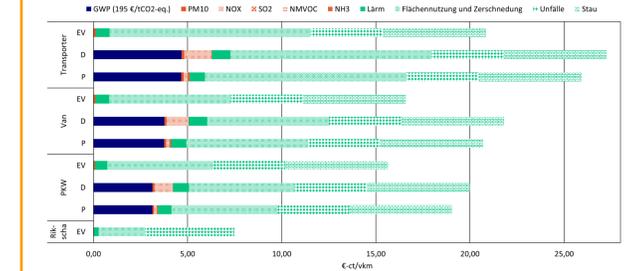


Abb. 8 – Ergebnisse der SLCA-Bewertung für die unterschiedlichen Fahrzeugtypen (CO2: blau, Luftschadstoffe: rot, weitere externe Effekte: grün)

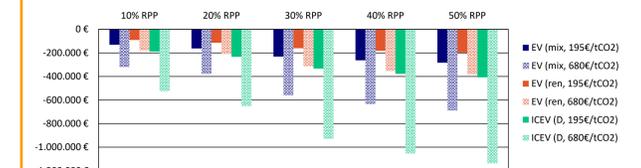


Abb. 9 – Ergebnisse der LCSA-Bewertung von Full RPP im Vergleich zum Status Quo (PKW)

## Feldtest

Der Feldtest des RPP-Services umfasste eine Webanwendung für Computer und Smartphone, einen RPP-Fahrzeugprototypen (Abb. 8) und ein Backend-System, welches die dynamischen Fahrtwünsche den fünf Rikschas zuwies und das Routing der Fahrzeuge übernahm. Der Feldtest hat bewiesen, dass eine integrierte MoD-Anwendung für Passagiere und Pakete möglich ist und der Prototyp des RPP-Fahrzeugs praxistauglich ist.



Abb. 8 – RPP-Fahrzeugprototyp im Einsatz während des fünftägigen Feldtests in der Maxvorstadt in München