Geschäftsmodelle und Monetarisierung für den Handel mit Mobilitätsdaten

Eine Forschungsarbeit im Rahmen des durch das **Bundesministerium für Digitales und Verkehr** und **mFund** geförderten Forschungsprojekts **AVIK** (**A**utomatisierte Boden-Luft-**V**ernetzung von Mobilitätsakteuren zur Verbesserung von **I**nteraktion und **K**ollaboration)

26.05.2025

Dr. Fred Steinmetz

Blockchain Research Lab gGmbH

Gefördert durch:

Bundesministerium für Digitales und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

mFUND

Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung **4**
1. Einleitung **5**
2. Mobilitätsdaten: Definition und Kategorisierung **6**
2.1. Definition **6**
2.2. Kategorisierung **7**
2.2.1. Nach Quelle 7
2.2.2. Nach Datentyp 7
2.2.3. Nach Anwendungsfall 8
2.2.4. Nach Wert-Attribut 9
2.3. Ableitung der betriebs- und volkswirtschaftlichen Relevanz **9**
3. Unternehmensebene: Geschäftsmodelle und Wertschöpfung im Datenökosystem **11**
3.1. Theoretische Grundlagen **12**
3.2. Rollen und Geschäftsmodelle im Mobilitätsdatenökosystem **14**
3.2.1. Datenproduzenten und -bereitsteller 15
3.2.2. Datenintermediäre und Plattformen 15
3.2.3. Datenveredler und Analyseanbieter 16
3.2.4. Datenkonsumenten und Nachfrager 17
3.3. Kooperationsmodelle und Co-Opetition **17**
3.3.1. Formen der Zusammenarbeit 18
3.3.2. Kooperationsprinzipien und Anreizsysteme 19
3.3.3. Herausforderungen und Erfolgsfaktoren 20
3.3.4. Praxisbeispiele für datengetriebene Kooperation 21
3.4. Betriebswirtschaftliche Potentiale der Datennutzung **21**
4. Volkswirtschaftliche Ebene: Innovation, Effizienz und Nachhaltigkeit durch Mobilitätsdaten **23**
4.1. Theoretische Grundlagen kollaborativer Datennutzung **23**
4.2. Wirkungspfade: Von betriebswirtschaftlicher Wertschöpfung zu makroökonomischem Nutzen **25**
4.3. Effizienz-, Innovations- und Nachhaltigkeitsgewinne **26**
4.4. Bewertungsansätze zur volkswirtschaftlichen Quantifizierung von Mobilitätsdatenpotenzialen **30**
4.4.1. Referenz- und Szenarienvergleich 31
4.4.2. Modellbasierte volkswirtschaftliche Simulation 32
4.4.3. Indikatorensysteme und Monitoring 34
4.4.4. Monetäre Wirkungsbepreisung 35
4.5. Zusammenfassung **37**
5. Synthese und gesamtwirtschaftliche Implikationen **39**
Literaturverzeichnis **41**

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorisierung von Mobilitätsdaten nach Quelle. 7
Tabelle 2: Kategorisierung von Mobilitätsdaten nach Datentyp. 8
Tabelle 3: Kategorisierung von Mobilitätsdaten nach Anwendungsfall (Use-Case). 8
Tabelle 4: Kategorisierung nach Value-Attributen. 9
Tabelle 5: Dimensionen von Mobilitätsdaten und deren mikro- und makroökonomische Relevanz. 10
Tabelle 6: Tabellarische Übersicht der Rollen im Mobilitätsdatenökosystem. 14
Tabelle 7: Übersicht über die vier Bewertungsansätze. 30

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit untersucht das gesamtwirtschaftliche Potenzial von Mobilitätsdaten in kollaborativen Nutzungskontexten. Ausgehend von einer systemischen Perspektive analysiert sie die Voraussetzungen und Wirkungen datengetriebener Mobilitätsinnovationen auf drei Ebenen: Dateninfrastruktur, Unternehmen und Volkswirtschaft.

Kapitel 2 beleuchtet die technische und institutionelle Infrastruktur, die für einen sicheren, interoperablen und vertrauenswürdigen Datenaustausch notwendig ist. Es zeigt, dass nicht nur technologische Standards, sondern auch Governance-Strukturen entscheidend für eine funktionierende Datenökonomie sind.

Kapitel 3 fokussiert auf Geschäftsmodelle, Rollen und Wertschöpfungslogiken innerhalb datenbasierter Mobilitätsökosysteme. Es wird deutlich, dass unternehmerische Innovation häufig auf der Verfügbarkeit und Aggregation heterogener Datenquellen beruht – etwa durch Plattformbetreiber, Softwareanbieter oder Verkehrsunternehmen.

Kapitel 4 überführt diese Erkenntnisse in eine volkswirtschaftliche Perspektive. Zunächst werden Wirkungspfade identifiziert, über die Mobilitätsdaten Effizienz, Innovation und Nachhaltigkeit befördern. Anschließend werden vier methodische Ansätze zur Quantifizierung dieser Potenziale vorgestellt: Referenz- und Szenarienvergleiche, volkswirtschaftliche Simulationsmodelle, Indikatorensysteme und monetäre Wirkungsbepreisung. Es zeigt sich, dass keine Methode isoliert ausreicht, um die komplexen Effekte datengetriebener Mobilität zu erfassen – vielmehr bedarf es einer Kombination komplementärer Verfahren.

Im abschließenden Kapitel 5 wird das Potenzial von Mobilitätsdaten als gesamtwirtschaftlicher Hebel zusammengefasst. Es wird deutlich: Nur durch eine integrative Betrachtung von Technologie, Institutionen und Bewertungssystemen lassen sich Mobilitätsdaten als strategische Ressource für eine nachhaltige, innovative und effiziente Verkehrspolitik erschließen.

1. Einleitung

Mobilitätsdaten stehen im Zentrum tiefgreifender Transformationen, die gegenwärtig die Verkehrs-, Energie- und Stadtentwicklungspolitik prägen. Sie entstehen in Echtzeit, erfassen multimodale Bewegungsströme und ermöglichen neue Formen der Steuerung, Planung und Innovation. Jenseits der technischen Verfügbarkeit jedoch stellt sich eine entscheidende Frage: Wie können Mobilitätsdaten so genutzt werden, dass daraus gesamtwirtschaftlicher und gesamtgesellschaftlicher Mehrwert entsteht?

Die vorliegende Arbeit nähert sich dieser Fragestellung aus systemischer Perspektive. Sie analysiert, auf welchen Ebenen Mobilitätsdaten wirken, welche institutionellen und ökonomischen Voraussetzungen für ihren Einsatz notwendig sind, und welche Potenziale sie zur Steigerung von Effizienz, Innovation und Nachhaltigkeit entfalten können. Besonderes Augenmerk gilt dabei den Rahmenbedingungen kollaborativer Datennutzung – also der Frage, wie verschiedene Akteure über Plattformen und Infrastrukturen hinweg Daten teilen, veredeln und gemeinsam nutzen können.

Ziel ist es, ein integratives Verständnis zu entwickeln, das über technologische Lösungsansätze hinausgeht und Mobilitätsdaten als strategisches Koordinationsinstrument in einem komplexen, mehrstufigen Wertschöpfungssystem versteht. Die Arbeit gliedert sich dazu in drei zentrale Analyseebenen: die Dateninfrastrukturebene (Kapitel 2), die Unternehmensebene (Kapitel 3) und die volkswirtschaftliche Ebene (Kapitel 4). In einem abschließenden Synthesekapitel werden die übergreifenden Implikationen verdichtet.

Diese Analyse wurde im Rahmen des durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) geförderten mFUND-Projekts AVIK – Automatisierte Boden-Luft-Vernetzung von Mobilitätsakteuren zur Verbesserung von Interaktion und Kollaboration erarbeitet. Aufbauend auf dem Vorgängerprojekt ADIS, in dem ein automatisches Identifikationssystem für Drohnen realisiert wurde, fokussiert AVIK auf die sensorische Integration (z. B. Temperatur, Radar, Kamerabilder), die sichere Datenübertragung und -verarbeitung sowie auf ein zukünftiges Marktmodell zur

wirtschaftlichen Verwertung dieser Daten. Neben technischen Aspekten stehen auch regulatorische, organisatorische und wirtschaftliche Fragestellungen im Zentrum, etwa zur Standardisierung und Monetarisierung mobilitätsrelevanter Datenströme im industriellen und öffentlichen Sektor.

2. Mobilitätsdaten: Definition und Kategorisierung

Im folgenden Kapitel werden Mobilitätsdaten zunächst definiert und anschließend entlang verschiedener Dimensionen systematisch kategorisiert. Ziel ist es, ein klares Begriffsverständnis zu entwickeln und gleichzeitig eine analytische Grundlage für die spätere wirtschaftliche Betrachtung zu schaffen. Abschnitt 2.1 liefert dafür eine Definition des Begriffs im Kontext aktueller technologischer Entwicklungen. Abschnitt 2.2 gliedert Mobilitätsdaten in vier zentrale Dimensionen: nach Quelle, nach Datentyp, nach Anwendungsfall und nach ökonomischem Wertattribut. Abschließend erfolgt in Abschnitt 2.3 eine Ableitung ihrer betriebs- und volkswirtschaftlichen Relevanz der unterschiedlich kategorisierten Mobilitätsdaten.

2.1. Definition

In einer zunehmend datengetriebenen Welt nehmen Mobilitätsdaten eine zentrale Rolle für innovative Geschäftsmodelle und die wirtschaftliche Entwicklung ein. Die Erhebung, Analyse und wirtschaftliche Nutzung von Daten, die durch die Bewegung von Objekten im physischen Raum entstehen, eröffnen vielfältige Potenziale – insbesondere im Kontext sensorbestückter Drohnen, Fahrzeuge und Infrastruktursysteme.

Mobilitätsdaten umfassen in diesem Kontext die digitalen Ausgaben in Echtzeit oder als historische Aufzeichnung, die durch sensorbestückte Drohnen, Fahrzeuge und Infrastrukturen generiert werden. Diese Daten spiegeln Bewegungsmuster, räumlich-zeitliche Dynamiken, Betriebszustände und Umwelteinflüsse wider. Sie bilden eine grundlegende Ressource für eine Vielzahl von Geschäftsmodellen und wirtschaftlichen Anwendungen – von der Optimierung logistischer Prozesse über die Stadtplanung bis hin zu kollaborativen Datenmarktplätzen.

2.2. Kategorisierung

Mobilitätsdaten lassen sich anhand verschiedener Dimensionen strukturieren. Die Kategorisierung dient dazu, ihre technischen Ursprüngen, inhaltlichen Merkmale, funktionalen Anwendungsbereiche sowie ihren ökonomischen Wert systematisch zu erfassen. Dies soll als Grundlage dienen, um Potenziale der Datennutzung sowohl auf unternehmerischer als auch auf gesamtwirtschaftlicher, also sowohl auf der mikro- als auch makroökonomischen Ebene zu erschließen.

2.2.1. Nach Quelle

Die Einteilung von Mobilitätsdaten nach Herkunftsquelle betrachtet, von welchen technischen Entitäten die Mobilitätsdaten generiert werden. Die Datenquelle beeinflusst unmittelbar deren Format, Frequenz und potenzielle Verwertbarkeit.

Tabelle 1: Kategorisierung von Mobilitätsdaten nach Quelle.

Kategorie	**Beschreibung**	**Beispiel(e)**
Luftgestützt	Sensorikgestützte Datenerfassung durch Drohnen/UAVs	Telemetrie, Bilder, Umweltmessung
Landgebunden	Bewegungsdaten von Fahrzeugen, Scootern, Lieferrobotern	Geschwindigkeit, Position, Diagnostikdaten
Infrastruktur	Stationäre Sensorik entlang von Verkehrswegen	Smarte Ampeln, V2X, Verkehrssensorik
Nutzer-Endgeräte	Bewegungs- und Interaktionsdaten von Mobilgeräten	GPS-Tracking von Smartphones, Wearables

2.2.2. Nach Datentyp

Die Kategorisierung nach Datentyp differenziert Mobilitätsdaten anhand ihrer inhaltlichen Struktur. Dies ist relevant für die Auswahl geeigneter Analyseverfahren sowie die Bewertung des Informationsgehalts.

Tabelle 2: Kategorisierung von Mobilitätsdaten nach Datentyp.

Datentyp	Beschreibung	Beispiel(e)
Geodaten	Positions- und Bewegungsinformationen	GPS, Trajektorien, Karten
Betriebsdaten	Technische Systemdaten	Batterie, Wartung, Statusmeldungen
Umweltdaten	Externe physikalische oder chemische Einflüsse	Luftqualität, Lärm, Wetterdaten
Verhaltensdaten	Nutzungs- und Bewegungsverhalten	Fahrtmuster, Verkehrsmittelwahl, Stopps
Visuelle Daten	Bild- und Videodaten	Luftaufnahmen von Straßen, Bauwerken etc.

2.2.3. Nach Anwendungsfall

Mobilitätsdaten können auch entlang konkreter Anwendungsbereiche strukturiert werden. Dies zeigt auf, in welchen praktischen Kontexten die Daten wirtschaftlichen oder gesellschaftlichen Nutzen stiften.

Tabelle 3: Kategorisierung von Mobilitätsdaten nach Anwendungsfall (Use-Case).

Use-Case	Beschreibung	Beispielhafte Nutzung
Navigation & Routing	Echtzeitbasierte Wegoptimierung	Navigationsdienste für Flotten
Flottenmanagement	Steuerung und Überwachung technischer Assets	Wartungsplanung, Lokalisierung
Infrastruktur-Monitoring	Zustandserfassung und Schadenserkennung	Brückeninspektionen per Drohne
Smart City Planning	Datenunterstützte städtische Infrastrukturentwicklung	Verkehrsplanung, Ladeinfrastruktur
Last-Mile-Logistik	Optimierung der letzten Liefermeile	Drohnenlieferungen, autonome Fahrzeuge
Versicherungsbewertung	Risiko- und Fahrverhaltensanalyse	Telematik-Tarife
Umweltmonitoring	Erfassung von Umweltparametern durch mobile Sensorik	Feinstaubmessung per E-Auto

2.2.4. Nach Wert-Attribut

Diese Dimension betrachtet, welche Eigenschaften von Mobilitätsdaten ihren wirtschaftlichen oder strategischen Wert bestimmen. Sie ist besonders relevant für Monetarisierung, Plattformgeschäfte und Regulierung.

Tabelle 4: Kategorisierung nach Value-Attributen.

Attribut	**Bedeutung für Unternehmen**	**Beispielhafte Auswirkungen auf die Ökonomie**
Echtzeit	Ermöglicht sofortige Reaktionen und dynamische Preisbildung	Verkehrssteuerung, Krisenmanagement
Granularität	Detailreichtum steigert den Informations- und Handelswert	Präzisere Modelle, differenzierte Services
Abdeckung	Flächendeckung erhöht Nutzbarkeit in großer Skala	Regionale Inklusion, Infrastrukturplanung
Eigentum	Regelt wirtschaftliche Verwertungsrechte	Datenlizenzierung, Marktpositionierung
Sensitivität	Bestimmt Datenschutzbedarf und regulatorische Risiken	DSGVO-Konformität, Vertrauen in datenbasierte Systeme

2.3. Ableitung der betriebs- und volkswirtschaftlichen Relevanz

Die zuvor dargestellten Kategorisierungen lassen sich entlang betriebswirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Perspektiven bewerten. Tabelle 5 stellt die Verbindung zwischen den Mobilitätsdaten-Dimensionen, konkreten Beispielen, sowie deren mikro- und makroökonomischer Bedeutung her.

Die betriebswirtschaftliche Perspektive verdeutlicht, wie Unternehmen durch gezielte Nutzung von Mobilitätsdaten Wettbewerbsvorteile erzielen können: etwa durch verbesserte Kundenservices, effizientere Prozesse oder innovative Geschäftsmodelle. Auf volkswirtschaftlicher Ebene wird erkennbar, wie Mobilitätsdaten zur Steuerung urbaner Räume, zur Ressourcenschonung oder zur Entwicklung neuer Märkte beitragen können.

Tabelle 5: Dimensionen von Mobilitätsdaten und deren mikro- und makroökonomische Relevanz.

Dimension	Kategorie	Beispiel	Betriebswirtschaftliche Relevanz	Volkswirtschaftliche Relevanz
Quelle	Luftgestützt (Drohnen)	UAVs für Logistik, Überwachung	Neue Liefermodelle, kostengünstige Fernüberwachung	Luftraummanagement, Infrastrukturzugang in ländl. Regionen
	Landgebunden (Fahrzeuge, Roller)	Telematikdaten von E-Autos, Ride-Sharing	Versicherungen, prädiktive Wartung	Stadtmobilitätsplanung, Emissionsreduktion
	Infrastruktur	Smarte Ampeln, V2X-Kommunikation	Verkehrsoptimierung, Smart-City-Services	Effizienz im ÖPNV, Umsetzung von Emissionsvorgaben
Datentyp	Geodaten / Standortdaten	GPS, Karten, Routeninformationen	Dynamisches Routing, Asset-Tracking	Infrastrukturentwicklung, Raumplanung
	Betriebsdaten	Batteriestatus, Motorleistung	Flottenmanagement, Wartungsoptimierung	Energieverbrauchsanalysen, Systemresilienz
	Umweltdaten	Luftqualität, Wetterdaten	Umweltintelligenz, Frühwarnsysteme	Einhaltung von Umweltnormen, Klimadatenanalyse
	Verhaltensdaten	Fahrverhalten, Verkehrsmittelwahl	Nutzungsbasierte Tarife, Personalisierung	Verhaltensteuerung, Gesundheitsförderung
Anwendungsfall	Navigation & Routenplanung	Multimodale Reisewege	Standortbasierte B2B-Dienste	Reduzierung von Staus, optimierte Stadtentwicklung
	Flottenmanagement	Dashboards für letzte Meile	Kostenreduktion, Effizienzsteigerung	Produktivitätsgewinne in der Logistik
	Überwachung & Instandhaltung	Drohnen-Inspektionen	Ferngesteuertes Asset-Management	Skalierbare Instandhaltung öffentlicher Infrastruktur
	Versicherungsbewertung	Fahrverhalten, Unfalldaten	Risikobasierte Tarife	Genauere Risikomodelle, Stabilisierung von Versicherungsmärkten
Wert-Attribute	Echtzeit	Live-Verkehrsdaten, Flugdaten	Agiles Management, dynamische Preisgestaltung	Reaktionsfähigkeit im Krisenfall, Effizienzsteigerung
	Granularität	Hochauflösende Bilder, Sekundenprotokolle	Premium-Datenprodukte, bessere Entscheidungsgrundlagen	Wissenschaftliche Modellierung, gezielte Politikgestaltung
	Eigentum	Exklusive vs. offene Datensätze	Datenmonetarisierung, strategische Marktpositionierung	Innovationsförderung durch Zugangsregulierung
	Sensibilität	Personenbezogene Bewegungsdaten	Datenschutzrisiken, Notwendigkeit zur Anonymisierung	DSGVO-/BDSG-Konformität, ethische Nutzung

3. Unternehmensebene: Geschäftsmodelle und Wertschöpfung im Datenökosystem

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit und wirtschaftlichen Relevanz von Mobilitätsdaten entstehen neuartige Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle auf Unternehmensebene. Unternehmen agieren nicht mehr nur als Anbieter physischer Produkte oder klassischer Mobilitätsservices, sondern zunehmend als Datenproduzenten, -verwerter und -veredler. Damit werden Mobilitätsdaten zu einem zentralen Produktionsfaktor der datenökonomischen Mobilität – vergleichbar mit Infrastruktur, Energie oder Know-how.

Kapitel 3 analysiert, wie sich diese Transformation in der unternehmerischen Praxis konkret ausprägt. Im Zentrum stehen dabei die betriebswirtschaftlichen Mechanismen und Geschäftsmodelle, die sich um Mobilitätsdaten herausbilden, sowie die Rolle kooperativer Wertschöpfung in einem dynamischen Datenökosystem.

In Unterkapitel 3.1 werden zunächst zentrale theoretische Grundlagen vermittelt und erläutert, wie sich wirtschaftswissenschaftliche Konzepte wie Plattformökonomie, Netzwerkexternalitäten, Co-Opetition und institutionenökonomische Perspektiven auf Mobilitätsdaten übertragen lassen. Unterkapitel 3.2 widmet sich den verschiedenen Akteursrollen im Datenökosystem – von Datenproduzenten über Intermediäre bis hin zu Konsumenten – und beschreibt ihre jeweiligen Geschäftsmodelle, Wertbeiträge und Herausforderungen.

Unterkapitel 3.3 beleuchtet Kooperationsmodelle im Umgang mit Mobilitätsdaten: Wie können Unternehmen gemeinsam Wert schöpfen, Daten teilen oder Märkte schaffen, ohne ihre Wettbewerbsposition zu gefährden? Dabei werden auch Prinzipien wie Datenräume, Data-Sharing-Plattformen oder blockchainbasierte Modelle analysiert. In Unterkapitel 3.4 folgt eine verdichtete Darstellung der konkreten betriebswirtschaftlichen Nutzenpotenziale der Datennutzung – von Kostensenkung und Umsatzsteigerung bis hin zu Innovationsgewinnen und organisationaler Agilität.

Diese unternehmensbezogenen Erkenntnisse bilden zugleich die analytische Grundlage für Kapitel 4, in dem die aggregierten und makroökonomischen Potenziale datenbasierter Mobilität aus volkswirtschaftlicher Perspektive untersucht werden.

3.1. Theoretische Grundlagen

Die zunehmende Digitalisierung physischer Mobilitätsprozesse führt zur Herausbildung eines eigenständigen datenökonomischen Ökosystems. Dieses basiert auf der großflächigen Erhebung, Verarbeitung und wirtschaftlichen Nutzung von Mobilitätsdaten – etwa durch vernetzte Fahrzeuge, Drohnen oder intelligente Infrastrukturen. Um die betriebswirtschaftlichen Implikationen dieses Wandels angemessen zu erfassen, ist eine fundierte theoretische Rahmung erforderlich, die Mobilitätsdaten nicht nur als technologische Ressource, sondern als ökonomisches Gut begreift.

Im Zentrum steht dabei die Erkenntnis, dass Daten – anders als materielle Ressourcen – immaterielle, nicht-rivale und vielfach nicht-ausschließbare Güter darstellen (Shaw et al., 2000). Ihre gleichzeitige Nutzung durch verschiedene Akteure erzeugt potenziell hohe Skaleneffekte und führt zu positiven Netzwerkeffekten. Diese Eigenschaften stellen klassische ökonomische Bewertungsmodelle infrage und machen deutlich, warum exklusive Eigentumsrechte und Zugangsregime für Daten besonders kontrovers diskutiert werden. Schon (Arrow, 1962) verwies auf die Notwendigkeit institutioneller Rahmensetzungen, um Innovation auf der Basis von Informationsgütern effizient zu gestalten.

Ein zentrales theoretisches Konzept zur Beschreibung datenbasierter Märkte ist die Plattformökonomik. Viele datenbezogene Geschäftsmodelle folgen dem Prinzip zweiseitiger Märkte, bei denen Plattformen als intermediäre Infrastruktur zwischen Datenproduzenten und Datenkonsumenten fungieren (Rochet & Tirole, 2003). Typisch für Plattformen sind Netzwerkexternalitäten: Je mehr Teilnehmer Daten liefern oder nutzen, desto attraktiver wird das gesamte System. Im Kontext von Mobilitätsdaten zeigen sich solche Effekte etwa bei Navigationsdiensten, in denen mehr Echtzeitdaten von Nutzern zu präziseren Verkehrsprognosen und damit zu größerer Nutzerzufriedenheit führen. Gleichzeitig entstehen Risiken von Monopolisierung, Lock-in-Effekten und Intransparenz (Evans & Schmalensee, 2016).

Eine besondere Rolle kommt in diesem Zusammenhang datenbasierten Geschäftsmodellen wie Data-as-a-Service (DaaS) zu. Diese ermöglichen es Unternehmen, Mobilitätsdaten entweder direkt zu monetarisieren oder als Grundlage für eigene digitale Services zu nutzen (OECD, 2019). Ein Beispiel ist der Handel von Luftbilddaten aus Drohnenbefliegungen, die etwa für Bauplanung,

Infrastrukturüberwachung oder Risikobewertung durch Versicherungen verwendet werden. Ebenso entstehen datengetriebene Mehrwertdienste wie prädiktive Wartungsanalysen für Fahrzeugflotten oder automatisierte Logistikoptimierung durch multimodale Echtzeitdaten. In beiden Fällen ist nicht nur der Datenbestand selbst wertvoll, sondern vor allem die Fähigkeit, aus den Daten konkrete ökonomische Nutzen zu generieren – etwa durch Analysemodelle, APIs oder Datenplattformen.

Diese Entwicklungen setzen jedoch eine neue Art der Kooperation voraus – insbesondere zwischen potenziell konkurrierenden Marktakteuren. Hier kommt das Konzept der Co-Opetition ins Spiel (Brandenburger et al., 2012): Unternehmen arbeiten in bestimmten Bereichen zusammen, um gemeinsam ein Ökosystem oder eine Infrastruktur aufzubauen – etwa durch die gemeinschaftliche Nutzung von Verkehrs- oder Umweltdaten. Gleichzeitig bleiben sie in anderen Bereichen im Wettbewerb. Plattformen wie der Mobility Data Space[1] oder der Open Data Hub[2] zeigen, wie solche Kooperationsformen konkret gestaltet werden können, etwa durch Zugriffsregeln, Lizenzierung und differenzierte Rollenmodelle. Choudary (2015) hebt hervor, dass erfolgreiche datenökonomische Plattformen nicht nur Technik bereitstellen, sondern auch Vertrauen, Governance und Interaktionslogiken implementieren müssen.

Die institutionenökonomische Perspektive erweitert diesen Blick um die Frage, unter welchen Rahmenbedingungen datenbasierte Märkte effizient funktionieren können. Eigentumsrechte, Standardisierungen, Zugangskontrollen und Anreizsysteme sind dabei entscheidend (North, 1990; Williamson, 2000). Nur wenn klar geregelt ist, wer was mit welchen Daten tun darf, lassen sich Marktversagen – etwa durch Trittbrettfahrer, Informationsasymmetrien oder übermäßige Abschottung – vermeiden. Stiglitz (2000) betont in diesem Zusammenhang die Rolle von Informationspolitik und Regulierung, um eine faire und nachhaltige Datenwirtschaft zu ermöglichen.

[1] https://mobility-dataspace.eu/

[2] https://opendatahub.com/

Mobilitätsdaten sind also nicht einfach technologische Nebenprodukte, sondern zentrale Bausteine eines neu entstehenden datenökonomischen Gefüges. Ihre Nutzung erfordert neue Geschäftslogiken, strategische Kooperationsformen und adäquate institutionelle Rahmenbedingungen. Die in diesem Kapitel behandelten Konzepte bilden das analytische Fundament für die folgenden Abschnitte, in denen die konkreten Rollen, Geschäftsmodelle und Wertschöpfungspotenziale datenbasierter Mobilitätsakteure systematisch dargestellt werden.

3.2. Rollen und Geschäftsmodelle im Mobilitätsdatenökosystem

Die datengetriebene Mobilitätswirtschaft ist durch ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Akteure geprägt, die unterschiedliche Rollen entlang der Wertschöpfungskette einnehmen. Die folgenden Unterkapitel differenzieren vier zentrale Akteursgruppen: Datenproduzenten, Intermediäre, Veredler und Konsumenten.[3] Ziel ist es, deren jeweilige Geschäftsmodelle, Wertbeiträge und Kooperationspotenziale systematisch zu erfassen. Tabelle 6 liefert einen ersten Überblick über die zentralen Akteursgruppen, deren Wertbeitrag und mögliche rollenspezifische Geschäftsmodelle.

Tabelle 6: Tabellarische Übersicht der Rollen im Mobilitätsdatenökosystem.

Rolle	**Wertbeitrag**	**Typische Geschäftsmodelle**	**Herausforderungen**
Datenproduzenten	Ursprung und Grundversorgung mit Rohdaten	DaaS, Lizenzierung, Edge-Selling	Standardisierung, Eigentum, Datenschutz
Datenintermediäre	Vermittlung, Aggregation, Datenhandel	Subskriptionen, Gebühren, API-Nutzung	Vertrauen, Interoperabilität, Marktstellung
Datenveredler	Analyse, Kontextualisierung, Insight-Erzeugung	Insight-as-a-Service, Benchmarking, Analytik-Plattformen	Datenzugang, Modellgüte, Komplexität
Datenkonsumenten	Nutzung zur Prozess-, Risiko- oder Strategieoptimierung	Intern: Effizienz / Extern: neue Dienste	Datenintegration, Kompetenzaufbau, Compliance

[3] Für eine ausführliche Beschreibung und Analyse der Akteursrollen im Kontext des Handels mit Mobilitätsdaten verweisen wir an dieser Stelle auf das AVIK-*Marktplatzkonzept für den Handel von Mobilitätsdaten und -informationen*; abrufbar über: https://www.blockchainresearchlab.org/research/avik/

3.2.1. Datenproduzenten und -bereitsteller

Datenproduzenten sind Organisationen, die Mobilitätsdaten in ihrer ursprünglichen Form erzeugen. Dazu zählen Fahrzeughersteller, Betreiber von Drohnen- und Sensornetzwerken, Mobilitätsplattformen oder Verkehrsinfrastrukturanbieter. Diese Akteure generieren kontinuierlich Daten durch den Einsatz sensorbestückter Geräte und vernetzter Systeme im öffentlichen Raum.

Ihr Geschäftsmodell basiert häufig auf der Bereitstellung dieser Daten für Dritte. Dies erfolgt beispielsweise über Data-as-a-Service-Modelle (DaaS), bei denen Roh- oder Echtzeitdaten gegen Entgelt zur Verfügung gestellt werden. Alternativ können Datenlizenzen vergeben werden, die eine zeitlich oder inhaltlich begrenzte Nutzung ermöglichen. In jüngerer Zeit etabliert sich auch das Edge-Selling, bei dem Daten direkt an der Quelle (z. B. im Fahrzeug) vorverarbeitet und in aggregierter Form weitergegeben werden.

Der Wertbeitrag dieser Akteure liegt insbesondere in der Qualität, Granularität und Aktualität der bereitgestellten Daten. Zugleich stehen sie vor Herausforderungen wie der Standardisierung, datenschutzkonformer Anonymisierung sowie der Frage, wie sich die Datenmonetarisierung mit dem Schutz des Kerngeschäfts vereinbaren lässt.

3.2.2. Datenintermediäre und Plattformen

Intermediäre spielen eine zentrale Rolle im Mobilitätsdatenökosystem. Sie agieren als Vermittler zwischen Datenanbietern und -nachfragern und stellen Plattformen bereit, auf denen Daten effizient gehandelt, kombiniert und zugänglich gemacht werden können. Hierzu zählen unter anderem API-Marktplätze, Brokerdienste oder datengetriebene Plattformanbieter wie der Mobility Data Space[4] oder Ocean Protocol[5]. Damit verbunden sind allerdings potentielle Risiken mit Bezug zur Zentralisierung von Zugang und Angriffsvektoren, und die Vielseitigkeit erhobener und nachgefragter Daten und die damit einhergehenden Gefahr einer Fragmentierung der Handelbarkeit kann

[4] Fn. 1

[5] https://oceanprotocol.com/

ein zentrales Hemmnis für die Zusammenführung von Angebot und Nachfrage darstellen. Das im Rahmen des Projekts AVIK erarbeitete Marktplatzkonzept eines dezentralen Datenhandelsabwicklungsprotokolls behandelt diese Probleme und bietet potentielle Lösungsansätze.[6]

Diese Plattformen operieren in zweiseitigen Märkten, in denen sie auf der einen Seite den Zugang zu Datenquellen und auf der anderen Seite deren Nutzung organisieren. Die Monetarisierung erfolgt meist über Transaktionsgebühren, Abonnements (Subskriptionen) oder durch differenzierte Zugangsmodelle (z. B. Freemium vs. Premium). Wesentlich ist dabei die Fähigkeit, Vertrauen zu schaffen – etwa durch transparente Zugriffsprotokolle, Datenschutzmechanismen und technische Interoperabilität.

Die Plattformbetreiber aggregieren Daten, schaffen Matching-Algorithmen und stellen oft Werkzeuge zur Visualisierung und Analyse zur Verfügung. Gleichzeitig müssen sie sich gegen Monopolbildung, technologische Komplexität und Abhängigkeiten von dominanten Akteuren behaupten.

3.2.3. Datenveredler und Analyseanbieter

Datenveredler transformieren Rohdaten in hochwertige Informationsprodukte. Dabei kommen Methoden der statistischen Auswertung, maschinellen Lernens oder Geodatenanalyse zum Einsatz. Unternehmen dieser Kategorie bieten datenbasierte Entscheidungsunterstützung an – etwa in Form von Echtzeit-Dashboards, Prognosemodellen oder mobilitätsbezogenen Business-Intelligence-Lösungen.

Ihr Geschäftsmodell ist meist als Insight-as-a-Service ausgestaltet: Sie verkaufen keine Rohdaten, sondern interpretierte, kontextualisierte und oft branchenspezifisch zugeschnittene Informationen.

[6] AVIK-*Marktplatzkonzept für den Handel von Mobilitätsdaten und -informationen*; abrufbar über: https://www.blockchainresearchlab.org/research/avik/

Manche Akteure bieten zusätzlich Benchmarking-Dienste (B2B-Benchmarking) an oder entwickeln eigene Analyseplattformen, um Kunden maßgeschneiderte Erkenntnisse zu liefern.

Ihr Beitrag liegt in der Hebung des strategischen Nutzens von Mobilitätsdaten. Allerdings sind sie auf einen zuverlässigen Zugang zu qualitativ hochwertigen Rohdaten angewiesen. Zugleich stellt die Sicherung von Datenintegrität, Modelltransparenz und Kundenvertrauen eine permanente Herausforderung dar.

3.2.4. Datenkonsumenten und Nachfrager

Datenkonsumenten nutzen Mobilitätsdaten, um operative Prozesse zu verbessern, strategische Entscheidungen zu treffen oder regulatorische Anforderungen zu erfüllen. Diese Akteursgruppe ist äußerst heterogen und umfasst Logistikunternehmen, Verkehrsplaner, Versicherer, Energieversorger sowie kommunale Institutionen.

Die Nutzung kann intern (z. B. zur Effizienzsteigerung in der Flottensteuerung) oder extern (z. B. zur Entwicklung neuer datenbasierter Dienstleistungen) erfolgen. Zunehmend relevant wird auch die strategische Datenintegration, etwa zur multimodalen Verkehrsplanung oder zur Standortanalyse in der städtischen Infrastrukturentwicklung.

Datenkonsumenten profitieren direkt von der verbesserten Verfügbarkeit, Verlässlichkeit und Vielfalt kombinierter Datenquellen. Gleichzeitig stehen sie vor der Herausforderung, technische Datenkompetenz aufzubauen, Governance-Vorgaben umzusetzen und verschiedene Datenformate in bestehende Systeme zu integrieren.

3.3. Kooperationsmodelle und Co-Opetition

Die Nutzbarmachung von Mobilitätsdaten erfordert in vielen Fällen eine Zusammenarbeit zwischen Akteuren, die im klassischen Sinne in Konkurrenz zueinander stehen. Grund dafür ist die inhärente Fragmentierung von Mobilitätsdaten: Sie entstehen bei unterschiedlichen Akteuren, in verschiedenen Formaten, mit divergierenden Zugriffs- und Verwertungsrechten. In diesem Kon-

text kann kein einzelner Anbieter allein die nötige Datenbasis aufbauen, um umfassende, skalierbare und qualitativ hochwertige Mobilitätslösungen zu entwickeln. Kooperation wird daher zu einem strategischen Imperativ.

Gleichzeitig wirken Netzwerkexternalitäten: Je mehr Akteure ihre Daten einbringen, desto wertvoller wird das Gesamtsystem – sowohl für Anbieter als auch für Nutzer. Dies gilt insbesondere für Anwendungen im Bereich der multimodalen Verkehrsplanung, des Verkehrsmanagements oder der stadtweiten Mobilitätssteuerung. Ohne koordinierte Kooperation droht ein Marktversagen, etwa in Form von Datensilos, Ineffizienzen und verpassten Innovationschancen.

3.3.1. Formen der Zusammenarbeit

Die Praxis kennt eine Vielzahl von Kooperationsmodellen im Bereich Mobilitätsdaten. Eine einfache, aber wirkungsvolle Form ist der Aufbau von Datenpools: Hierbei bündeln mehrere Unternehmen oder Institutionen ihre Rohdaten in einem gemeinsamen Speicher – meist innerhalb eines geschlossenen Konsortiums. Ziel ist es, die Datenbasis für alle Teilnehmer zu vergrößern, ohne die Kontrolle über eigene Daten vollständig aufzugeben.

Ein fortgeschrittener Ansatz sind sogenannte Datenräume, wie sie im Kontext europäischer Digitalstrategien (z. B. Gaia-X[7], Mobility Data Space[8]) entstehen. Datenräume folgen einer föderierten Architektur, in der die Daten dezentral verbleiben, aber über gemeinsame Standards, Zugriffsschichten und Vertrauensmechanismen gemeinsam nutzbar gemacht werden. Der entscheidende Vorteil: Datenhoheit bleibt beim Ursprungsakteur, während gleichzeitig neue datenbasierte Geschäftsmodelle entstehen können.

Neben diesen strukturierten Kooperationsformen existieren auch Peer-to-Peer-Modelle, bei denen etwa ein Datenveredler gezielt Rohdaten bei Produzenten einkauft, verknüpft und analysiert. Auch

[7] https://gaia-x.eu/

[8] Fn. 1

Blockchain-basierte Datenmarktplätze gewinnen an Bedeutung: Hier werden Datenangebote automatisiert über Smart Contracts gehandelt, was insbesondere für den Austausch hochfrequenter Echtzeitdaten (z. B. von Drohnen oder Fahrzeugflotten) Vorteile bietet.

Schließlich ist die Kooperation über Data-Sharing-Plattformen relevant. Diese bieten nicht nur Speicher und Infrastruktur, sondern auch Zugriffsrechte, Vertragslogik, Abrechnungsmodelle und Schnittstellen. Beispiele sind der Mobility Data Space[9], der Open Data Hub[10] oder kommerzielle Anbieter wie Dawex[11] oder Streamr[12].

3.3.2. Kooperationsprinzipien und Anreizsysteme

Kooperation setzt geeignete Anreize voraus. Unternehmen geben ihre Daten nicht leichtfertig preis – insbesondere wenn diese als Wettbewerbsvorteil gelten oder rechtlichen Einschränkungen unterliegen. Daher müssen Geschäfts- und Governance-Modelle so ausgestaltet sein, dass sich Beteiligung wirtschaftlich und strategisch lohnt.

Ein zentraler Hebel ist das Incentive Design: Datenbereitsteller können direkt an der Nutzung partizipieren – etwa durch Lizenzgebühren, Revenue-Sharing-Modelle oder tokenisierte Belohnungssysteme. Alternativ wirken gegenseitige Zugriffsrechte als Anreiz: Wer Daten beisteuert, erhält Zugang zu den Daten der anderen Teilnehmer. Auch regulatorische Anforderungen spielen eine zunehmende Rolle: Etwa, wenn Städte oder Betreiber verpflichtet sind, Daten zu Umweltwirkungen oder Verkehrsflüssen offenzulegen.

Auf der Governance-Seite stehen sich unterschiedliche Modelle gegenüber: zentral verwaltete Plattformen mit klarer Regelsetzung versus dezentral organisierte Datenökosysteme mit offener

[9] Fn. 1

[10] Fn. 2

[11] https://www.dawex.com/

[12] https://streamr.network/

Architektur. Es existieren auch hybride Modelle, die technische Interoperabilität mit vertraglicher Klarheit und Vertrauen kombinieren.

Kooperation im Datenbereich ist somit kein Selbstzweck, sondern erfordert ein feines Gleichgewicht aus Vertrauen, technischer Absicherung, ökonomischer Attraktivität und strategischem Nutzen. Nur wenn diese Faktoren zusammenspielen, kann sich das Potenzial kombinierter und kollaborativ genutzter Mobilitätsdaten in der Unternehmenspraxis entfalten.

3.3.3. Herausforderungen und Erfolgsfaktoren

Trotz des großen Potenzials kollaborativer Datenökosysteme sehen sich beteiligte Akteure mit einer Reihe von Herausforderungen konfrontiert. Eine zentrale Hürde ist der Vertrauensmangel: Viele Unternehmen befürchten, durch Datenfreigabe strategische Nachteile zu erleiden oder in Haftungsfragen verwickelt zu werden. Ohne transparente Regelwerke, verlässliche technische Schutzmechanismen und klare Governance-Strukturen ist eine flächendeckende Beteiligung schwer erreichbar.

Ein weiteres Problem liegt in der technischen Heterogenität: Unterschiedliche Datenformate, Schnittstellen und Semantiken erschweren die Integration und Interoperabilität. Standardisierung – etwa über offene APIs, Ontologien oder Metadatenformate – ist daher ein entscheidender Erfolgsfaktor.

Auch die wirtschaftliche Nachhaltigkeit kollaborativer Modelle ist nicht trivial. Datenräume und -plattformen benötigen eine stabile Finanzierung, klare Erlösmodelle und eine überzeugende Nutzenargumentation für alle beteiligten Parteien. Erfolgsentscheidend ist hier die Balance zwischen Offenheit und Exklusivität: Während Offenheit Innovation und Reichweite fördert, benötigen viele Plattformen eine kritische Masse und geschützte Geschäftsmodelle zur Refinanzierung.

Schließlich stellt sich die Frage nach der Fairness und Gleichberechtigung im Zugang. Kleine Akteure könnten durch große Dateninhaber oder Plattformbetreiber benachteiligt werden. Regulatorische Rahmensetzungen, z. B. durch den EU Data Act, können hier für Chancengleichheit sorgen.

3.3.4. Praxisbeispiele für datengetriebene Kooperation

Ein prominentes Beispiel für datengetriebene Kooperation ist der Mobility Data Space[13] in Deutschland. Als föderierter Datenraum zielt er darauf ab, Mobilitätsdaten unterschiedlicher Anbieter sicher, transparent und souverän teilbar zu machen. Dabei steht nicht nur der technische Austausch im Vordergrund, sondern auch die Governance: Jedes Mitglied behält die Kontrolle über seine Daten und kann granular definieren, wer wie auf welche Daten zugreifen darf.

Ähnlich agiert Catena-X[14], ein branchenübergreifendes Datenökosystem in der Automobilindustrie. Hier werden Lieferketten- und Produktionsdaten entlang der gesamten Wertschöpfungskette geteilt, um Transparenz, Effizienz und Nachhaltigkeit zu fördern, und die Einhaltung von Gesetzesvorgaben zur Nachverfolgbarkeit von Rohstoffen und Prozessen zu ermöglichen.

Auch das mFUND-geförderte Forschungsprojekt AVIK (Automatisierte Boden-Luft-Vernetzung von Mobilitätsakteuren) verfolgt einen kooperativen Ansatz, indem es Daten zwischen Drohnen und Bodenfahrzeugen vernetzt und über eine technische Infrastruktur für zukünftige Anwendungen nutzbar machen will. Zwar befindet sich das Forschungsprojekt AVIK in einem konzeptionellen und experimentellen Stadium, es illustriert jedoch die zunehmende Bedeutung vertikaler Datenintegration über Systemgrenzen hinweg. Die vorliegende Analyse wurde im Rahmen dieses Projekts erarbeitet und versteht sich als Beitrag zur theoretischen und methodischen Fundierung solcher Kooperationsansätze.

3.4. Betriebswirtschaftliche Potentiale der Datennutzung

Die unternehmerische Nutzung von Mobilitätsdaten zielt auf die Realisierung konkreter Wertschöpfungseffekte. Diese manifestieren sich entlang verschiedener Dimensionen – von operativen Effizienzgewinnen über neue Umsatzquellen bis hin zu strategischen Innovationsimpulsen. Die

[13] Fn 1

[14] https://catena-x.net/

wirtschaftliche Relevanz der Datennutzung kann somit sowohl kurzfristige betriebliche Leistungsindikatoren als auch langfristige Wettbewerbsfähigkeit verbessern.

Ein zentrales Wertschöpfungspotenzial liegt in der Kostensenkung. Durch präzise Betriebsdaten und deren kontinuierliche Auswertung lassen sich Wartungszyklen optimieren, Ressourcenverbrauch reduzieren und Auslastungen steigern. In der Logistik etwa ermöglichen Flottenmanagementsysteme auf Basis von Echtzeit-Mobilitätsdaten eine dynamische Tourenplanung, wodurch Leerfahrten minimiert und Treibstoffkosten gesenkt werden. Auch Predictive Maintenance – etwa bei Fahrzeugen oder Verkehrsinfrastrukturen – beruht auf der intelligenten Verwertung von Sensordaten und spart langfristig Reparatur- und Ausfallkosten.

Ein zweites zentrales Potenzial ergibt sich durch die Erschließung neuer Einnahmequellen. Unternehmen können aus der eigenen Datenproduktion neue Produkte oder Dienstleistungen generieren – sei es durch die direkte Monetarisierung von Daten (z. B. über DaaS-Modelle), durch datengetriebene Zusatzservices (z. B. Versicherungsangebote basierend auf Fahrverhalten), oder durch B2B-Partnerschaften, in denen Daten als Bestandteil hybrider Leistungsbündel integriert werden. Plattformbetreiber und Datenintermediäre profitieren insbesondere von Skaleneffekten, da mit wachsender Nutzerzahl auch der Wert des Datennetzwerks steigt.

Drittens eröffnen Mobilitätsdaten Innovationsgewinne. Sie schaffen die Grundlage für datengetriebene Geschäftsmodellentwicklung, etwa durch die Kombination mit KI-Anwendungen zur Vorhersage von Nachfrage, zur Steuerung von Verkehrsflüssen oder zur automatisierten Entscheidungsunterstützung. Auch agile Formen der Produktentwicklung – etwa A/B-Tests im urbanen Raum oder Simulationen im digitalen Zwilling – sind auf die Verfügbarkeit und Integration vielfältiger Mobilitätsdaten angewiesen.

Nicht zuletzt stärken datenbasierte Lösungen die Agilität von Unternehmen. Durch schnellere, evidenzbasierte Entscheidungen, datenbasierte Frühindikatoren und automatisierte Reportings erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit auf Marktveränderungen oder regulatorische Anforderungen. Insbesondere in dynamischen Märkten wie dem Mobilitätssektor wird Datenkompetenz damit zu einem zentralen Treiber unternehmerischer Resilienz.

In der Gesamtschau zeigen sich die betriebswirtschaftlichen Potenziale der Mobilitätsdatennutzung in einer verbesserten Kapitalrendite (ROI), gesteigerter Innovationsfähigkeit und erhöhter Anpassungsflexibilität. Diese Potenziale stellen nicht nur individuelle Wettbewerbsvorteile dar, sondern bilden zugleich die Mikrofundamente für volkswirtschaftliche Effizienzgewinne, wie sie in Kapitel 4 näher beleuchtet werden.

4. Volkswirtschaftliche Ebene: Innovation, Effizienz und Nachhaltigkeit durch Mobilitätsdaten

Während Kapitel 2 und 3 vor allem auf die strukturellen und unternehmerischen Voraussetzungen datenbasierter Mobilität fokussierten, richtet Kapitel 4 den Blick auf die volkswirtschaftliche Ebene. Es geht um die Frage, wie sich die Potenziale der kollaborativen Datennutzung auf die gesamte Volkswirtschaft auswirken – und wie diese Effekte theoretisch fundiert, empirisch beobachtet und methodisch quantifiziert werden können. Der Fokus liegt auf drei zentralen Wirkungspfaden: Effizienzgewinne, Innovationsförderung und Nachhaltigkeitswirkungen. Diese werden in Kapitel 4.3 systematisch hergeleitet und anhand einschlägiger Forschungsliteratur belegt. Kapitel 4.4 entwickelt darauf aufbauend ein methodisches Raster zur volkswirtschaftlichen Bewertung dieser Potenziale.

4.1. Theoretische Grundlagen kollaborativer Datennutzung

Mobilitätsdaten gewinnen nicht nur auf Unternehmensebene an strategischer Relevanz, sondern entfalten auch auf volkswirtschaftlicher Ebene ein zunehmendes Potenzial. Insbesondere die kollaborative Nutzung und Kombination solcher Daten eröffnet neue Chancen für gesamtwirtschaftliche Effizienzsteigerungen, Innovationsdynamiken und nachhaltigkeitsorientierte Transformationsprozesse. Um diese Potenziale analytisch greifbar zu machen, bedarf es einer theoretischen Fundierung der Frage, wie Daten als ökonomische Ressource im öffentlichen Interesse verstanden und genutzt werden können.

Aus wohlfahrtsökonomischer Perspektive lassen sich Mobilitätsdaten als sogenannte Klubgüter oder in Teilen sogar als öffentliche Güter einordnen. Während individuelle Datenquellen zunächst proprietären Charakter haben, entstehen durch die gemeinsame Nutzung positive Externalitäten,

deren Wirkung über das einzelne Unternehmen, also die mikroökonomische Perspektive, hinausreicht. Ein klassisches Marktversagen kann hier auftreten, wenn Anreize fehlen, Daten freiwillig zu teilen oder gemeinsam zu nutzen – insbesondere, wenn die Nutzenstiftung nicht ausschließlich beim Datenbereitsteller anfällt (Pigou, 1920).

Die Gefahr einer datenbezogenen Allmendeproblematik („Tragedy of the Commons“) besteht hingegen weniger im Übergebrauch, sondern vielmehr im Untergebrauch relevanter Mobilitätsdaten. Wertvolle Informationen bleiben ungenutzt, da fragmentierte Eigentumsverhältnisse, mangelnde Anreize oder regulatorische Unsicherheiten eine kooperative Nutzung verhindern (Hardin, 1968). In Anlehnung an Elinor Ostroms Arbeiten zur kollektiven Ressourcenbewirtschaftung wird deshalb zunehmend auf gemeinschaftliche Steuerungsmechanismen („Commons-Based Governance“) gesetzt. Datenräume wie der Mobility Data Space[15] oder Gaia-X[16] bieten Ansätze, um vertrauenswürdige, föderierte Dateninfrastrukturen aufzubauen, bei denen Eigentum und Kontrolle erhalten bleiben, aber gleichzeitig ein gemeinsamer Nutzen ermöglicht wird (Ostrom, 1990).

Zugleich wird in der ökonomischen Literatur die Rolle von Daten als infrastruktureller Produktionsfaktor betont. Ähnlich wie Straßen oder Energieversorgung bilden Mobilitätsdaten eine grundlegende Voraussetzung für sektorübergreifende Innovation, für die Skalierung digitaler Geschäftsmodelle sowie für die Effizienz öffentlicher Planung und Regulierung. Die Idee der „digital public infrastructure“ (UNDP, 2022) betont, dass der Zugang zu Daten – ähnlich wie zu Wasser oder Strom – in Zukunft als Voraussetzung für gleichberechtigte Teilhabe an Wertschöpfung und gesellschaftlicher Entwicklung zu verstehen ist.

In diesem Sinne eröffnet die kollaborative Nutzung von Mobilitätsdaten nicht nur betriebswirtschaftliche, sondern auch gesamtgesellschaftliche Potenziale: Sie fördert Innovation, reduziert Informationsasymmetrien, stärkt Resilienz und unterstützt datenbasierte Governance in Bereichen wie Emissionskontrolle, Katastrophenschutz, Verkehrsplanung oder Mobilität im Allgemeinen.

[15] Fn. 1

[16] Fn. 7

Das Ziel der folgenden Kapitel ist es zu analysieren, über welche konkreten Wirkungspfade und Bewertungsansätze sich dieser Wandel auch empirisch und ökonomisch erfassen lässt.

4.2. Wirkungspfade: Von betriebswirtschaftlicher Wertschöpfung zu makroökonomischem Nutzen

Die wirtschaftliche Nutzung von Mobilitätsdaten entfaltet ihre volle Wirkung erst dann, wenn die Effekte über die Ebene einzelner Unternehmen hinaus skaliert werden. Während Kapitel 3 die unternehmensinterne Wertschöpfung durch Daten in den Mittelpunkt stellte, widmet sich dieses Kapitel den aggregierten Effekten, also wie betriebliche Datennutzungen zu makroökonomisch relevanten Wirkungen führen kann.

Ein analytischer Ansatzpunkt sind sogenannte Wirkungspfade, über die individuelle Datenpraktiken gesamtwirtschaftliche Effekte erzeugen können. Dazu zählen insbesondere Skaleneffekte, Spillover-Effekte, Netzwerkexternalitäten sowie die Entstehung neuer Märkte und Infrastrukturen. Ein Beispiel ist die flächendeckende Einführung datengetriebener Logistiksysteme, deren Effizienzgewinne sich durch reduzierte Transportkilometer, geringere Emissionen und optimierte Lagerhaltung nicht nur unternehmensintern, sondern auch auf Verkehrsaufkommen, Umweltbelastung und Energieverbrauch auswirken.

Auch Netzwerkeffekte sind volkswirtschaftlich relevant: Je mehr Akteure Mobilitätsdaten bereitstellen und gemeinsam nutzen, desto präziser und vielseitiger werden datenbasierte Modelle – etwa für Verkehrsflussprognosen, Unfallvermeidung oder multimodale Mobilitätsplanung. Diese Effekte sind nicht linear, sondern verstärken sich mit zunehmender Datenverfügbarkeit überproportional – ein typischer Mechanismus digitaler Skalierung.

Ein dritter Wirkungspfad ergibt sich aus sogenannten Innovationsspillovern: Unternehmen, die auf gemeinsame Daten zugreifen können, sind eher in der Lage, neue Produkte, Services und Technologien zu entwickeln – von KI-gestützter Verkehrssteuerung bis zur Echtzeit-Optimierung öffentlicher Mobilitätsangebote. Diese Innovationsimpulse diffundieren über Branchen- und Sektorengrenzen hinweg und stärken die volkswirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit insgesamt.

Nicht zuletzt ermöglicht die kombinierte Nutzung von Mobilitätsdaten sektorübergreifende Steuerungs- und Regulierungsmechanismen: So können Städte und Gemeinden etwa Emissionsgrenzwerte datenbasiert überwachen, Infrastrukturausbau gezielt planen oder Katastrophenvorsorge optimieren. Damit werden Mobilitätsdaten zur Grundlage evidenzbasierter Politikgestaltung.

Insgesamt zeigt sich, dass zwischen der Nutzung von Mobilitätsdaten auf Unternehmensebene und gesamtwirtschaftlichem Nutzen kein linearer, aber ein systematisch beschreibbarer Zusammenhang besteht.

4.3. Effizienz-, Innovations- und Nachhaltigkeitsgewinne

Die in den vorangegangenen Abschnitten diskutierten Wirkungspfade machen deutlich, dass Mobilitätsdaten über ihre betriebswirtschaftliche Bedeutung hinaus auch als volkswirtschaftlicher Hebel fungieren können. Die Kombination aus institutionellen Rahmenbedingungen, gemeinsamer Infrastruktur und kollektiver Nutzung schafft die Voraussetzung dafür, dass datenbasierte Anwendungen in drei zentralen Zielbereichen wirken: Effizienz, Innovation und Nachhaltigkeit.

Im Bereich der Effizienzsteigerung zeigen empirische Studien, dass datenbasierte Verkehrsmanagementsysteme – insbesondere solche mit intelligenter Rampensteuerung, kooperativer Fahrzeugregelung und prädiktiver Analyse – erhebliche Effizienzgewinne ermöglichen. Zhang et al. (2021) zeigen beispielsweise, dass Data-Driven Ramp Control und intelligente Netzwerksteuerung die Reisezeit von Fahrzeugen um über 20 % und die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Straßenabschnitten um über 34 % reduzieren können. Wang et al. (2024) sowie Li et al. (2024) belegen, dass kooperative Kontrollstrategien für Connected and Automated Vehicles (CAVs) in gemischten Verkehrsszenarien zu einer durchschnittlichen Effizienzsteigerung von über 7 % führen. Dabei profitieren sowohl automatisierte als auch menschlich gesteuerte Fahrzeuge. Jain et al. (2023) zeigen, dass die Integration von Echtzeit-Fahrzeugdaten in intelligente Verkehrssysteme sowohl monetäre als auch zeitliche Kosten verringern kann – bei gleichzeitiger Reduktion von Luftverschmutzung, Treibhausgasemissionen und Kraftstoffverbrauch. Weitere Studien belegen, dass Big-Data-gestützte Steuerungssysteme – unter Einsatz von Multiagenten-Lernen, Rolling-Horizon-Optimierung und Cloud-basierten Analyseverfahren – zur besseren Auslastung bestehender

Infrastruktur und zu einem reibungsloseren Verkehrsfluss beitragen (Carlini et al., 2022; Deng et al., 2024; Lusikka et al., 2020; Soriano et al., 2018).

Diese Ergebnisse unterstreichen die volkswirtschaftliche Relevanz intelligenter Verkehrssysteme, die durch gemeinsame Datennutzung von Infrastruktur, Fahrzeugen und Nutzern gesteuert werden. Die Effizienzgewinne betreffen dabei sowohl den Energieverbrauch als auch die Nutzung öffentlicher Raumressourcen – etwa durch Vermeidung von Staus, Reduktion von Standzeiten und präzisere Instandhaltungsplanung.ein Beispiel für die gleichzeitige Wirkung ökonomischer und ökologischer Effizienzgewinne.

Auch im Bereich der Innovation ist die Verfügbarkeit strukturierter, interoperabler Mobilitätsdaten ein wesentlicher Treiber. Verschiedene Studien zeigen, dass offene Datenplattformen – wie der Mobility Data Space oder die Transport Cloud – die Integration und Wiederverwendung von Daten aus öffentlichen und privaten Quellen ermöglichen, wodurch die Entwicklung innovativer Mobilitätsdienste gefördert wird (Carlini et al., 2022; Deng et al., 2024; Lusikka et al., 2020; Soriano et al., 2018). In diesen kooperativen Datenumgebungen entstehen neue Geschäftsmodelle, modulare Dienste und maßgeschneiderte Lösungen für urbane Mobilität (Bellini et al., 2024; Schreieck et al., 2018).

Zudem tragen Open-Innovation-Plattformen und Living Labs zur Stärkung der Wertschöpfungsketten im öffentlichen Verkehr bei, indem sie multimodale Mobilitätsdaten in Echtzeit zugänglich machen und datenbasierte Entscheidungsprozesse verbessern (Nur & Gammons, 2019; Pretzsch et al., 2022). Gleichzeitig machen einige Studien deutlich, dass trotz dieser Potenziale gewisse Vorbehalte gegenüber offener Innovation bestehen – etwa im Hinblick auf Datenintegration, Wettbewerb und Kontrolle. Turoń & Kubik (2021, 2022) betonen hier die Rolle gezielter Anreize und Bildungsmaßnahmen, um die Akzeptanz zu erhöhen und eine breitere Partizipation zu erreichen.

Einblick in die Umsetzung datengetriebener Innovationen bieten verschiedene mFUND-Projekte des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr. So adressiert das Projekt ODIN-MP[17] die Herausforderung der Integration von On-Demand-Mobilitätsdiensten in bestehende Plattformen. Durch die Entwicklung eines standardisierten Adapters soll eine einheitliche und barrierefreie Nutzung solcher Angebote über Regionen und Anbieter hinweg ermöglicht werden. Dies fördert die multimodale Mobilität und verbessert den Zugang zu flexiblen Mobilitätsformen.

Ein weiteres Beispiel ist das Projekt VeriBus[18], das mittels KI-gestützter Luftbildauswertung Haltestellendaten im ÖPNV überprüft und korrigiert. Dadurch können bestehende Informationslücken und Ungenauigkeiten in Routingsystemen geschlossen werden – mit unmittelbarem Nutzen für Nutzerfreundlichkeit, Barrierefreiheit und datengetriebene Routenplanung. Gleichzeitig stärkt dies das Vertrauen in öffentlich verfügbare Mobilitätsdaten.

Das Projekt HyProTwin[19] setzt auf Hybrid-KI, um aus heterogenen Bestandsdaten digitaler Zwillinge für Verkehrsinfrastrukturen zu generieren. Durch die strukturierte Bereitstellung historischer und aktueller Daten wird datengetriebene Instandhaltung und Planung erleichtert – insbesondere für komplexe Bauwerke wie Schleusen oder Brücken. Die digitale Verfügbarkeit solcher Informationen senkt Transaktionskosten und ermöglicht schnellere Entscheidungsprozesse.

Ein besonders relevantes Beispiel im Kontext von Umweltdatennutzung ist das Projekt RaMilan[20]. Es entwickelt ein drohnengestütztes Raman-Spektroskopie-System zur Detektion luftgetragener Gefahrstoffe bei Schadenslagen. Die erhobenen Mobilitäts- und Umweltdaten werden in Echtzeit verarbeitet, um Ausbreitungsszenarien zu modellieren und so die Gefahrenabwehr zu unterstützen. Dieses Projekt zeigt eindrücklich, wie Mobilitätsdaten, Sensorik und KI zu sicherheits- und gesundheitsbezogenen Innovationen beitragen können.

[17] https://daten.plus/projekte/odin-mp

[18] https://daten.plus/projekte/veri-bus

[19] https://daten.plus/projekte/hy-pro-twin

[20] https://daten.plus/projekte/ra-milan

Diese Beispiele verdeutlichen: Innovationspotenziale entfalten sich besonders dann, wenn verschiedene Akteure – von kommunalen Behörden über Mobilitätsdienstleister bis hin zu Technologieunternehmen – gemeinsam an interoperablen, skalierbaren Lösungen arbeiten, bei denen Mobilitätsdaten im Zentrum stehen.

Die Nachhaltigkeitsperspektive gewinnt vor dem Hintergrund klimapolitischer Zielsetzungen zunehmend an Bedeutung. Mobilitätsdaten bilden die Grundlage für ein präzises Monitoring verkehrsbedingter Emissionen, Lärmbelastungen und Verkehrsflüsse. Studien zeigen, dass Verkehrsdaten wie Fluss, Geschwindigkeit und Fahrzeugmischung in der Lage sind, Emissionshotspots zu identifizieren und die Konzentration von Schadstoffen während Stoßzeiten zuverlässig zu prognostizieren (Ajayi et al., 2023; Liu et al., 2018; Wen et al., 2020, 2022). Emissionsinventare mit hoher räumlicher Auflösung lassen sich durch Kombination von GPS-Daten, offenen Staustatistiken und weiteren städtischen Datenquellen erstellen, was eine zeitlich und räumlich differenzierte Analyse ermöglicht (ebd.).

Auch akustische Umweltwirkungen sind mit Mobilitätsdaten analysierbar: So ermöglichen Videoanalyse, Floating-Car-Data sowie Geräuschspektren eine kosteneffiziente und dynamische Modellierung von Verkehrslärm und dessen räumliche Ausbreitung (Aletta et al., 2020; Dekoninck & Severijnen, 2022; Pascale et al., 2023). Geräuschpegel werden dabei häufig über Modelle abgeleitet, die Verkehrsvolumen, Fahrzeugklassen und Geschwindigkeit integrieren (Cook et al., 2024; Gazder et al., 2023; Lan et al., 2025).

Neben der Umweltperspektive umfasst Nachhaltigkeit auch soziale Aspekte. Datenbasierte Mobilitätsplanung trägt zur Verbesserung der Erreichbarkeit in ländlichen Regionen und zur Förderung inklusiver öffentlicher Räume bei (Brandt et al., 2022; Tomej & Liburd, 2019). Spatial Decision Support Systems (SDSS) kombinieren öffentliche und private Datenquellen, um Mobilitätslücken zu identifizieren und partizipative Planungsprozesse zu ermöglichen. Analysen zur Zugänglichkeit von Grünflächen und aktiver Mobilität – gestützt durch Crowd-Daten und digitale Evaluationswerkzeuge – zeigen auf, wie unterschiedliche Nutzergruppen, insbesondere ältere Menschen oder Personen mit Mobilitätseinschränkungen, gezielt berücksichtigt werden können (Huang et al., 2022; Lopes & Alves, 2021; Wolff et al., 2020). Auch Konzepte wie Equity-Focused Mobility

Hubs adressieren gezielt benachteiligte Gruppen und fördern so gerechte Infrastrukturen (Tran & Draeger, 2021).

Insgesamt wird deutlich, dass sich Effizienz-, Innovations- und Nachhaltigkeitspotenziale nicht isoliert, sondern oftmals komplementär entfalten – insbesondere dann, wenn Mobilitätsdaten in kooperativen Ökosystemen gesammelt, kombiniert und ausgewertet werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein institutionelles und technisches Umfeld, das Interoperabilität, Vertrauen und Anreizstrukturen für die Datennutzung schafft – wie es in Kapitel 4.1 beschrieben und durch die Wirkungspfade in Kapitel 4.2 analytisch hergeleitet wurde. Die konkrete Quantifizierung dieser Potenziale erfordert spezifische Bewertungsmodelle, die im folgenden Abschnitt systematisch dargestellt werden.

4.4. Bewertungsansätze zur volkswirtschaftlichen Quantifizierung von Mobilitätsdatenpotenzialen

Die Analyse und Nutzung von Mobilitätsdaten entfaltet ihr volkswirtschaftliches Potenzial erst dann vollständig, wenn geeignete Bewertungsansätze zur Verfügung stehen, um die Effekte datenbasierter Innovationen systematisch zu erfassen. Kapitel 4.4 stellt vier etablierte methodische Zugänge vor, die sich in der einschlägigen Literatur bewährt haben: (1) Referenz- und Szenarienvergleiche, (2) modellbasierte volkswirtschaftliche Simulationen, (3) Indikatorensysteme und Monitoringansätze sowie (4) monetäre Wirkungsbepreisung (siehe Tabelle 7). Die folgenden Unterkapitel erläutern die jeweiligen Methoden, geben konkrete Anwendungsbeispiele, beleuchten Stärken und Limitationen der Ansätze differenziert nach Methode und zeigen auf, welche Rolle sie für eine fundierte Bewertung gesamtwirtschaftlicher Effekte spielen können.

Tabelle 7: Übersicht über die vier Bewertungsansätze.

Kapitel	Bewertungsansatz	Beispielhafte Anwendungen	Relevante Literatur
4.4.1	Referenz- und Szenarienvergleich	MaaS in Amsterdam, Emissionshistorie GB	Labee et al. (2022), Geels (2018), Butler et al. (2020), Greenblatt & Shaheen (2015)
4.4.2	Modellbasierte volkswirtschaftliche Simulation	SD-Modelle, MoMaS, ForFITS	Ani et al. (2020), Ghasemi & Kucharski (2025), Lom & Přibyl (2021), Zawieska & Pieriegud (2018)

4.4.3	Indikatorensysteme und Monitoring	KPIs, Innovation Readiness, Mobility Dashboards	Morfoulaki & Chatziathanasiou (2023), Ayfantopoulou et al. (2023), Stocker et al. (2024)
4.4.4	Monetäre Wirkungsbepreisung	CBA, Logsum, LCA, STEAM	DeCorla-Souza et al. (1998), Kim et al. (2023), Zhao et al. (2021)

4.4.1. Referenz- und Szenarienvergleich

Der Referenz- und Szenarienvergleich stellt einen klassischen Zugang zur Bewertung innovationsgetriebener Veränderungen dar. Dabei werden die Effekte spezifischer Maßnahmen durch die Gegenüberstellung von Ist-Zuständen mit hypothetischen oder empirisch beobachteten Alternativszenarien quantifiziert. Dieser methodische Zugang kommt insbesondere dann zur Anwendung, wenn es darum geht, technologische oder organisatorische Neuerungen wie Mobility-as-a-Service (MaaS), autonomes Fahren oder intermodale Plattformen hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen oder Effizienzgewinne zu bewerten.

Ein besonders illustratives Beispiel liefert die Studie von Labee et al. (2022), die anhand modellierter Reisedaten für Amsterdam den Einfluss unterschiedlicher MaaS-Maßnahmen auf Emissionen analysiert. Die Ergebnisse zeigen ein breites Spektrum möglicher Einsparungen – von moderaten 3–4 % in konservativen Szenarien bis zu 43–54 % in optimistischen, stark integrierten Varianten. Der Mehrwert dieser Methode liegt darin, durch simulationsgestützte Gegenüberstellung eine Bandbreite realistischer Potenziale zu quantifizieren und politisch steuerbare Parameter (z. B. Integrationsgrad, Nutzerakzeptanz) zu identifizieren.

Auch historische Vergleiche, wie sie Geels (2018) für Großbritannien durchführt, fallen in diese Kategorie. In einer Langzeitanalyse von 1990–2016 wird gezeigt, dass technologische und strukturelle Veränderungen – etwa Biokraftstoffe, Kompaktstadtkonzepte[21] oder mobiles Arbeiten – zusammengenommen zu einer Emissionsreduktion von 12,7 % führten. Die systematische Analyse

[21] Aus dem Englischen übersetzt; „Compact cities“ bezeichnet das planerische Leitbild verdichteter, funktionsgemischter Städte mit kurzen Wegen und guter Erreichbarkeit ohne Auto.

historischer Daten ermöglicht es, reale Transformationspfade nachzuvollziehen und als Orientierungsrahmen für künftige Maßnahmen zu nutzen.

Die Stärken des Ansatzes liegen in seiner Nachvollziehbarkeit und empirischen Fundierung: Ergebnisse basieren entweder auf realen Daten oder auf plausiblen, nachvollziehbaren Modellannahmen. Allerdings ist die Aussagekraft solcher Analysen stark abhängig von der Qualität der genutzten Daten, den getroffenen Modellannahmen sowie der Rahmen des betrachteten Systems. Darüber hinaus kann es schwierig sein, externe Einflussfaktoren klar zu isolieren – etwa sozioökonomische Entwicklungen, politische Maßnahmen oder technologische Reifungsprozesse.

4.4.2. Modellbasierte volkswirtschaftliche Simulation

Im Unterschied zu szenariobasierten Vergleichen erlauben volkswirtschaftliche Simulationsmodelle die dynamische und systemübergreifende Bewertung von Innovationswirkungen. Die bekanntesten Modellfamilien in diesem Bereich sind System-Dynamics-Modelle, agentenbasierte Modelle und integrierte ökonomisch-transportbasierte Simulationsrahmen. Wie in der Studie von Labee et al. (2022), können die beiden Ansätze auch Überschneidungen aufweisen.

System-Dynamics-Modelle wie das von Ani et al. (2020) für das Rhein-Ruhr-Gebiet entwickelte Framework erlauben es, komplexe Rückkopplungen zwischen Verkehrsverhalten, Emissionen, wirtschaftlicher Entwicklung und politischem Handeln abzubilden. Hierbei werden Gleichungssysteme verwendet, die intertemporale Wirkungszusammenhänge simulieren. In Szenarien wie „Smart City“ oder „Sustainable City“ können verschiedene Maßnahmenpakete durchgerechnet und deren „Nettoeffekte“ auf BIP, Emissionsniveaus oder Investitionsrentabilität abgeschätzt werden.

Ergänzend dazu fokussieren agentenbasierte Modelle wie MoMaS (Ghasemi & Kucharski, 2025) auf das Verhalten individueller Akteure – etwa Fahrgäste, Plattformanbieter oder Fahrzeugflotten – und simulieren deren Interaktionen auf einem Mobilitätsmarkt. Diese Mikrofundierung erlaubt es, Netzwerkeffekte und kritische Masse in der Diffusion neuer Mobilitätsdienste realistisch zu modellieren. Auch der Einfluss heterogener Präferenzen auf die Marktstruktur und die gesamtwirtschaftliche Nachfrage kann so berücksichtigt werden.

Integrierte Modelle wie ForFITS (Zawieska & Pieriegud, 2018) kombinieren makroökonomische Variablen mit verkehrsspezifischen Parametern und ermöglichen unter anderem die Berechnung von CO_2-Einsparungen und ökonomischen Effekten von Dekarbonisierungsstrategien. Sie sind besonders für internationale oder sektorübergreifende Analysen geeignet. ForFITS – entwickelt von der UN-ECE – ist ein makroskopisches, szenariobasiertes Simulationsmodell, das nationale Daten zu Fahrzeugbeständen, Energieverbrauch, CO_2-Emissionen, Bevölkerungsdynamiken und Wirtschaftsleistung integriert. Es deckt alle Verkehrsträger ab (Straße, Schiene, Luft und Wasser) und ermöglicht politische Wirkungsanalysen bis zum Jahr 2050. Durch die Abbildung unterschiedlicher Politikszenarien – etwa zur Förderung von E-Mobilität, Verkehrsverlagerung oder effizienteren Antriebstechnologien – können volkswirtschaftliche Trends und Umweltwirkungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen simuliert werden.

Im Unterschied zu agentenbasierten Modellen, die das Verhalten individueller Akteure (z. B. Fahrgäste, Fahrzeughalter, Anbieter) modellieren und netzwerkdynamische Wechselwirkungen abbilden, verfolgt ForFITS einen top-down Ansatz. Es erfasst Aggregate auf nationaler oder sektoraler Ebene und eignet sich daher vor allem zur politischen Entscheidungsunterstützung auf Makroebene. Mikroökonomische Detailtiefe tritt hierbei zugunsten von Übersichtlichkeit und politischer Anschlussfähigkeit in den Hintergrund. Die Stärken von ForFITS liegen in der breiten Datenabdeckung, der robusten Vergleichbarkeit zwischen Ländern und Szenarien sowie in der klaren Ausrichtung auf Nachhaltigkeitsziele.

Die Stärke dieses methodischen Zugangs liegt in der Fähigkeit, direkte und indirekte Effekte – von der Nutzerreaktion bis zur volkswirtschaftlichen Konsequenz – simultan zu erfassen. Die Komplexität der Modelle kann jedoch zu Intransparenz führen; zudem sind viele Modelle stark abhängig von Datenverfügbarkeit und -qualität und benötigen umfangreiche Kalibrierung. Eine hohe Modellkomplexität erhöht das Risiko methodischer Verzerrung, insbesondere bei fehlerhaften Annahmen.

4.4.3. Indikatorensysteme und Monitoring

Indikatorensysteme ermöglichen eine standardisierte und kontinuierliche Bewertung von Mobilitätsinnovationen. Im Gegensatz zu ex-ante-Simulationen fokussiert dieser Ansatz stärker auf das laufende Monitoring und die Evaluation von Pilotprojekten oder systemischen Transformationen.

Ein besonders etabliertes Instrument sind Key Performance Indicator (KPI)-Frameworks, die in zahlreichen EU-finanzierten Innovationsprojekten zur Anwendung kommen. Sie definieren eine standardisierte Metrik zur Erfolgsmessung, etwa in Bezug auf Nachhaltigkeit, Wirkung auf die Nutzerakzeptanz oder Effizienzgewinne. Morfoulaki & Chatziathanasiou (2023) zeigen anhand eines Projekts zur beschleunigten Implementierung nachhaltiger Mobilitätslösungen, dass solche Frameworks dazu beitragen, die Umsetzungsfähigkeit und den Wissenstransfer innerhalb und zwischen Projekten zu erhöhen. Eine zentrale Herausforderung bleibt allerdings die Auswahl geeigneter Indikatoren und deren Adaptierbarkeit an lokale Kontexte.

Darüber hinaus bieten sogenannte Innovationsreifeindikatoren (Innovation Readiness Indicators) ein differenziertes Instrumentarium, um die Fähigkeit von Städten und Regionen zur Einführung datengetriebener Mobilitätslösungen zu bewerten. Ayfantopoulou et al. (2023) identifizieren auf Basis eines statistischen Analyseverfahrens (Principal Component Analysis) 21 relevante Indikatoren, von denen sieben als besonders kritisch gelten – darunter Aspekte wie Governance-Fähigkeit, IKT-Infrastruktur, institutionelle Flexibilität und Datenkompetenz. Die Anwendung solcher Modelle erlaubt eine vergleichende Bewertung der Innovationsfähigkeit von Städten im internationalen Maßstab. Im Kontext dieser Analyse gewinnen sie zusätzlich an Bedeutung, da sie eine Brücke zwischen den infrastrukturellen Voraussetzungen (Kapitel 2), der organisatorischen Umsetzung (Kapitel 3) und den volkswirtschaftlichen Effekten (Kapitel 4) schlagen: Eine hohe Innovationsreife ist oft eine Voraussetzung dafür, dass datengetriebene Mobilitätslösungen überhaupt zu messbaren Effekten führen können. So gesehen ermöglichen Innovationsreifeindikatoren nicht nur Monitoring, sondern auch prospektive Politikgestaltung.

Zunehmend gewinnen auch datengetriebene Entscheidungsmodelle an Bedeutung, die mithilfe von maschinellem Lernen und fuzzy logic systematisch Projektwirkungen quantifizieren. Nessari

et al. (2024) entwickeln etwa ein Entscheidungsmodell, das Kriterien wie Resilienz, Kreislaufwirtschaft und Industrie 4.0 integriert und mit prädiktiven Algorithmen kombiniert. Der Vorteil liegt in der dynamischen Anpassbarkeit solcher Modelle an verschiedene Projektkontexte, gleichzeitig ist ihre Anwendung oft mit hohen Anforderungen an Datenverfügbarkeit, Datenqualität und methodische Expertise verbunden.

Ein weiterer relevanter Ansatz sind Mobility Data Science Frameworks. Sie verbinden domänenspezifisches Wissen aus Verkehrs- und Mobilitätswissenschaft mit den Methoden der Data Science. Stocker et al. (2024) zeigen, dass diese Frameworks eine strukturierte Entwicklung und Bewertung digitalisierter Mobilitätsdienste ermöglichen, indem sie Methoden wie Feature Engineering, Regressionsanalyse oder Deep Learning in das Projektmanagement integrieren. Der Fokus liegt hierbei stark auf der Operationalisierung von Datenströmen und der Entwicklung wiederverwendbarer Analysekomponenten.

Die wesentlichen Stärken liegen in der Vergleichbarkeit, Transparenz und Praxisnähe dieser Systeme. Ihre Schwächen ergeben sich aus der notwendigen Reduktion komplexer Zusammenhänge auf wenige Indikatoren. Diese Aggregation kann relevante Kontextfaktoren ausblenden oder strategische Verzerrungen verursachen, wenn etwa KPIs vorrangig auf leicht messbare statt komplexe aber wirksame Dimensionen fokussieren.

4.4.4. Monetäre Wirkungsbepreisung

Die monetäre Bewertung immaterieller Effekte ist ein zentraler Bestandteil der volkswirtschaftlichen Analyse datenbasierter Mobilitätsinnovationen. Sie ermöglicht es, qualitative Wirkungen wie Emissionsvermeidung, Zeitersparnis oder Umweltentlastung in ökonomisch vergleichbare Größen zu überführen und so in gesamtwirtschaftliche Abwägungsprozesse einzubeziehen. Insbesondere bei politischen Investitionsentscheidungen und in der strategischen Verkehrsplanung stellt sie ein unverzichtbares Bewertungsinstrument dar.

Ein verbreiteter methodischer Ansatz ist die Kosten-Nutzen-Analyse (Cost-Benefit Analysis, CBA). Hierbei werden Nutzenwirkungen anhand von Zahlungsbereitschaften der Bevölkerung – etwa in Euro pro vermiedener Tonne CO_2 oder eingesparter Stunde Fahrzeit – quantifiziert. De

DeCorla-Souza et al. (1998) zeigen am Beispiel des STEAM-Modells, wie durch die Kombination von Emissions-, Zeit- und Unfallvermeidungsdaten ein umfassendes Bewertungsprofil generiert werden kann. Grundlage ist dabei die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für bestimmte Verbesserungen, etwa ausgedrückt in Euro pro vermiedener Tonne CO_2 oder Euro pro eingesparter Stunde Fahrzeit. Solche Instrumente ermöglichen eine aggregierte Bewertung unterschiedlicher Maßnahmeneffekte. Aktuelle Anwendungen fokussieren sich zunehmend auf städtische Mobilitätskontexte, in denen sich multiple Effekte – wie Reisezeitverkürzungen, Schadstoffreduktionen oder Sicherheitsgewinne – über verschiedene Verkehrsträger hinweg kumulieren. Besonders in Ballungsräumen mit dichter Verkehrsverflechtung können CBA-Modelle dazu beitragen, die Vorteilhaftigkeit alternativer Mobilitätslösungen zu bewerten und politische Investitionsentscheidungen datenbasiert zu unterstützen. Dabei erweisen sich die Genauigkeit der Datengrundlage sowie die Transparenz der Bewertungsansätze als zentrale Qualitätskriterien der monetären Bewertung.

Ein alternativer Zugang zur Bewertung nutzerseitiger Effekte besteht über die Konsumentenrente. Traditionell wird hierfür die durch Maßnahmen induzierte Reisezeitverkürzung angesetzt und mittels durchschnittlicher Zeitwerte monetarisiert. Kim et al. (2023) gehen darüber hinaus und wenden den logsum-basierten Ansatz der diskreten Wahlmodellierung an. Dieser erlaubt es, nicht nur direkte Zeitersparnisse, sondern auch indirekte Nutzengewinne durch verändertes Mobilitätsverhalten, wie etwa die höhere Erreichbarkeit multimodaler Angebot, zu erfassen. Diese Form der Nutzenquantifizierung erweist sich insbesondere dann als vorteilhaft, wenn Mobilitätsinnovationen in komplexen, verhaltensgetriebenen Systemen greifen, etwa bei der Einführung neuer Plattformdienste oder der Integration flexiblen On-Demand-Verkehrs. In einem Vergleich beider Verfahren fanden die Autoren signifikant höhere Nutzenwerte im logsum-Modell, was auf die methodische Überlegenheit bei heterogenen Nutzergruppen hinweist.

Eine dritte Bewertungslogik folgt aus der ökonomischen Bewertung ökologischer Wirkungen durch Life-Cycle-Analysen (LCA). Diese ermöglichen es, Emissionen, Ressourcenverbrauch und Energieeinsatz entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Infrastruktur zu erfassen und monetär zu bewerten. Zhao et al. (2021) zeigen anhand des Einsatzes recycelter Asphaltmaterialien in der Transportinfrastruktur, wie sich Umweltwirkungen – etwa durch geringere

Primärrohstoffnutzung – systematisch erfassen und wirtschaftlich bewerten lassen. Auf dieser Basis wird nicht nur der ökologische Fußabdruck reduziert, sondern auch ein relevanter wirtschaftlicher Nutzen beziffert, was in der Gesamtbetrachtung zur Priorisierung nachhaltiger Investitionen beiträgt.

Methodisch besonders interessant ist hierbei der Vergleich konventioneller mit datenbasierten LCA-Modellen: Erstere arbeiten meist mit Annahmen zu Lebensdauer und durchschnittlichen Emissionswerten, während datenintensive Ansätze dynamische Parameter – etwa reale Fahrprofile oder spezifische Materialeigenschaften – berücksichtigen. Dadurch entstehen belastbarere und kontextbezogenere Bewertungsgrundlagen.

Allerdings sind allen genannten Verfahren inhärente Grenzen gesetzt. CBA erfordert stabile Bewertungsmaßstäbe und kann qualitative Aspekte wie soziale Inklusion oder Lebensqualität nur bedingt abbilden. Die Konsumentenrente hängt stark von Modellannahmen zu Nutzerverhalten ab, während LCA stark durch Datenverfügbarkeit limitiert ist. Zudem besteht die Gefahr, dass monetäre Bewertungen politische Zielhierarchien verzerren – etwa indem kurzfristig quantifizierbare Effekte (z. B. Reisezeit) systematisch gegenüber schwer monetarisierbaren sozialen oder kulturellen Werten bevorzugt werden.

Trotz dieser Limitationen stellt die monetäre Wirkungsbepreisung ein unverzichtbares Instrument dar, um datenbasierte Mobilitätsinnovationen in gesamtwirtschaftliche Bewertungs- und Steuerungssysteme zu integrieren. Ihre differenzierte Anwendung erlaubt nicht nur die Plausibilisierung einzelner Innovationspfade, sondern auch die strategische Priorisierung im Kontext begrenzter Ressourcen und konkurrierender Zielsetzungen – etwa zwischen Klimaschutz, Infrastrukturqualität und sozialer Gerechtigkeit.

4.5. Zusammenfassung

Kapitel 4 hat das volkswirtschaftliche Potenzial der kollaborativen Nutzung von Mobilitätsdaten aus verschiedenen Perspektiven analysiert. Ausgangspunkt war die Unterscheidung von drei Wirkungskategorien – Effizienz, Innovation und Nachhaltigkeit –, die im Rahmen von Kapitel 4.3

systematisch hergeleitet wurden. Die zentralen Erkenntnisse zeigen, dass intelligente Verkehrssysteme, offene Datenplattformen und datenbasierte Planungsansätze nicht nur operative Effizienzpotenziale heben, sondern auch strukturelle Innovationen ermöglichen und substanzielle Beiträge zu ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit leisten können. Dabei wurde deutlich, dass sich diese Zielbereiche häufig überschneiden und gegenseitig verstärken, insbesondere wenn Mobilitätsdaten in kooperativen Ökosystemen genutzt werden.

Kapitel 4.4 widmete sich im Anschluss der methodischen Frage, wie diese Potenziale systematisch bewertet und volkswirtschaftlich quantifiziert werden können. Es wurden vier komplementäre Bewertungsansätze vorgestellt:

Erstens erlauben Referenz- und Szenarienvergleiche die vergleichende Quantifizierung von Innovationseffekten auf Basis von empirischen oder modellierten Vorher-Nachher-Szenarien. Sie sind besonders geeignet für die Bewertung spezifischer Maßnahmen wie MaaS-Implementierungen oder technologischer Umrüstungen. Ihre Stärke liegt in der Anschaulichkeit und der Nähe zur politischen Praxis, während ihre Limitationen insbesondere in der Datenverfügbarkeit und der Isolierung externer Effekte bestehen. Zweitens bieten modellbasierte volkswirtschaftliche Simulationen, z.B. agentenbasierte Modelle, die Möglichkeit, komplexe Wechselwirkungen innerhalb von Verkehrs- und Wirtschaftssystemen zu erfassen. Sie erlauben sowohl direkte als auch indirekte Effekte abzubilden, etwa durch die Integration von Verhalten, Märkten und politischen Steuerungsmechanismen. Gleichzeitig bedarf es hoher methodischer Expertise und umfangreicher Daten, um valide und nachvollziehbare Ergebnisse zu erzielen. Drittens wurden Indikatorensysteme und Monitoringansätze als praxisnahe Instrumente zur laufenden Erfolgskontrolle datenbasierter Mobilitätsprojekte identifiziert. Sie bieten standardisierte Messgrößen zur Bewertung von Nachhaltigkeit, Innovationsfähigkeit und Umsetzungserfolg. Ihre Stärken liegen in der Transparenz und Vergleichbarkeit, während sie inhaltlich häufig an der Reduktion komplexer Wirkungen auf wenige Metriken leiden und damit strategische Blindstellen erzeugen können. Viertens erlaubt die monetäre Wirkungsbepreisung eine Überführung qualitativer Effekte in ökonomische Kennzahlen, etwa im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen. Dabei stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung – von der klassischen Konsumentenrente über logsum-basierte Nutzenschätzungen bis

hin zu Lebenszyklusanalysen. Monetarisierung macht unterschiedliche Nutzenarten vergleichbar, ist aber stark abhängig von der Wahl und Plausibilität zugrunde liegender Bewertungsparameter.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass keine der vorgestellten Methoden allein ausreicht, um das volkswirtschaftliche Potenzial kollaborativ genutzter Mobilitätsdaten vollumfänglich zu erfassen. Vielmehr liegt der Schlüssel in der Kombination verschiedener Bewertungszugänge, die, je nach Anwendungskontext, komplementäre Einsichten liefern. Die Verbindung szenarienbasierter Modelle mit ökonomischer Simulation, Indikatorensystemen und monetärer Bewertung bietet eine robuste Grundlage für evidenzbasierte Mobilitätspolitik.

5. Synthese und gesamtwirtschaftliche Implikationen

Die vorliegende Arbeit hat sich der Frage gewidmet, wie die kollaborative Nutzung von Mobilitätsdaten gesamtwirtschaftlich wirksam werden kann – und auf welchen theoretischen, organisatorischen und methodischen Grundlagen diese Wirkung beruht. Ausgehend von einer mehrstufigen Systematisierung wurde gezeigt, dass Mobilitätsdaten nicht nur als technologische Ressource, sondern als strategisches Gut im Kontext von Plattformökonomie, institutioneller Koordination und sektorenübergreifender Innovation zu betrachten sind.

Kapitel 2 legte hierfür das Fundament, indem es zentrale Akteure, Datenflüsse und Koordinationsmechanismen auf der Dateninfrastrukturebene analysierte. Kapitel 3 zeigte auf der Unternehmensebene, wie datenbasierte Wertschöpfung in Mobilitätsökosystemen funktioniert, welche Geschäftsmodelle daraus entstehen und welche Rollen Unternehmen im Ökosystem einnehmen können. Kapitel 4 überführte diese Erkenntnisse in eine volkswirtschaftliche Perspektive, indem es konkrete Wirkungspfade, empirische Potenziale und methodische Bewertungszugänge aufzeigte.

Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass Mobilitätsdaten ein Katalysator für Effizienz, Innovation und Nachhaltigkeit sein können, vorausgesetzt, dass geeignete institutionelle Rahmenbedingungen, Governance-Strukturen und interoperable Plattformlösungen dies begünstigen. Der gesamtwirtschaftliche Nutzen ergibt sich nicht allein aus technologischen Anwendungen, sondern aus deren Einbettung in ein kooperatives und zielorientiertes Ökosystem.

Die volkswirtschaftliche Wirkung solcher datenbasierter Mobilitätsinnovationen lässt sich am besten durch eine Kombination von Methoden erfassen: Szenarienbasierte Wirkvergleiche liefern greifbare Evidenz; Simulationsmodelle zeigen systemische Rückwirkungen auf; Indikatorensysteme ermöglichen Monitoring und Steuerung; monetäre Bewertungsansätze unterstützen politische Allokationsentscheidungen. Entscheidend ist jedoch deren kontextuelle Verknüpfung, um blinde Flecken und methodische Engführungen zu vermeiden.

Zukünftige Forschung sollte daher darauf abzielen, bestehende methodische Inseln zu verbinden, Bewertungsmodelle standardisierbar, nachvollziehbar und interoperabel zu gestalten und insbesondere auch nicht-monetäre Wirkungen, z.B. soziale Teilhabe oder Resilienz, stärker in volkswirtschaftliche Analysen zu integrieren. Nur so kann eine datenbasierte Mobilitätspolitik entstehen, die technologischen Fortschritt mit gesellschaftlichem Mehrwert verknüpft und das volle Transformationspotenzial von Mobilitätsdaten nutzbar macht.

Literaturverzeichnis

Ajayi, S. A., Adams, C., Dumedah, G., Adebanji, A., & Ackaah, W. (2023). The Impact of Traffic Mobility Measures on Vehicle Emission for Heterogeneous Traffic in Lagos City. *Scientific African*. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01822

Aletta, F., Brinchi, S., Carrese, S., Gemma, A., Guattari, C., Mannini, L., & Patella, S. (2020). Analysing urban traffic volumes and mapping noise emissions in Rome (Italy) in the context of containment measures for the COVID-19 disease. *Noise Mapping*, *7*, 114–122. https://doi.org/10.1515/noise-2020-0010

Ani, M., Jennifer, K., Fabian, L., Vasanth, K., Munteanu, V., Schmidt, A., & Bleischwitz, R. (2020). Integrated Urban Mobility Policies in Metropolitan Areas: A System Dynamics Approach for the Rhine-Ruhr metropolitan region in Germany. *Sustainable Cities and Society*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102358

Arrow, K. J. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In *The Rate and Direction of Inventive Activity* (pp. 609–626). Princeton University Press. https://doi.org/10.1515/9781400879762-024

Ayfantopoulou, G., Touloumidis, D., Mallidis, I., & Xenou, E. (2023). A Quantitative Model of Innovation Readiness in Urban Mobility: A Comparative Study of Smart Cities in the EU, Eastern Asia, and USA Regions. *Smart Cities*. https://doi.org/10.3390/smartcities6060148

Bellini, P., Bilotta, S., Collini, E., Fanfani, M., & Nesi, P. (2024). Data Sources and Models for Integrated Mobility and Transport Solutions. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *24*. https://doi.org/10.3390/s24020441

Brandenburger, C. A. M., Nalebuff, B. J., Von, S., & M, C. A. (2012). “Co-opetition” by Adam M. Brandenburger and Barry J. Nalebuff. *New York*, *4*.

Brandt, D., Alnyme, O., & Heldt, T. (2022). Building a spatial decision support system for tourism and infrastructure planning: technical solution and data integration challenges. *European Journal of Geography*. https://doi.org/10.48088/ejg.d.bra.13.1.094.108

Butler, L., Yigitcanlar, T., & Paz, A. (2020). Smart Urban Mobility Innovations: A Comprehensive Review and Evaluation. *IEEE Access*, *8*, 196034–196049. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3034596

Carlini, E., Chevalier, T., Dazzi, P., Lettich, F., Perego, R., Renso, C., & Trani, S. (2022). *A Federated Cloud Solution for Transnational Mobility Data Sharing*. 586–592. https://consensus.app/papers/a-federated-cloud-solution-for-transnational-mobility-carlini-chevalier/bc198b774c2359989759c80e49cc7b2f/

Choudary, S. P. (2015). Platform {Scale} - {How} an emerging business model helps startups build large empires with minimum investment. In *Platform Thinking Labs Pte. Ltd.* (Issue First Edition).

Cook, M., Gee, K., Transtrum, M., & Lympany, S. (2024). Toward a dynamic national transportation noise map: Modeling temporal variability of spectral traffic noise emission levels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *156 3*, 1693–1706. https://doi.org/10.1121/10.0028627

DeCorla-Souza, P., Cohen, H., Haling, D., & Hunt, J. (1998). Using STEAM for Benefit-Cost Analysis of Transportation Alternatives. *Transportation Research Record*, *1649*, 63–71. https://doi.org/10.3141/1649-08

Dekoninck, L., & Severijnen, M. (2022). Correlating Traffic Data, Spectral Noise and Air Pollution Measurements: Retrospective Analysis of Simultaneous Measurements near a Highway in The Netherlands. *Atmosphere*. https://doi.org/10.3390/atmos13050740

Deng, H., Hu, Q., Guan, C., Chen, Y. S., & Menendez, M. (2024). Building a government-owned open data platform for connected and autonomous vehicles. *Cities*. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104918

Evans, D. S., & Schmalensee, R. (2016). Matchmakers: The new economics of multisided platforms. *Harvard Business Review Press*, *June*.

Gazder, U., Mehdi, M., Outay, F., & Arsalan, M. (2023). Noise level based equivalency factors for different mobility options within heterogeneous traffic flow. *Personal and Ubiquitous Computing*, *27*, 1681–1690. https://doi.org/10.1007/s00779-023-01741-0

Geels, F. (2018). Low-carbon transition via system reconfiguration? A socio-technical whole system analysis of passenger mobility in Great Britain (1990–2016). *Energy Research & Social Science*. https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2018.07.008

Ghasemi, F., & Kucharski, R. (2025). MoMaS: Two-sided Mobility Market Simulation Framework for Modeling Platform Growth Trajectories. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104990

Greenblatt, J., & Shaheen, S. (2015). Automated Vehicles, On-Demand Mobility, and Environmental Impacts. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, *2*, 74–81. https://doi.org/10.1007/S40518-015-0038-5

Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. In *Science* (Vol. 162, Issue 3859). https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243

Huang, X., White, M., & Langenheim, N. (2022). Towards an Inclusive Walking Community—A Multi-Criteria Digital Evaluation Approach to Facilitate Accessible Journeys. *Buildings*. https://doi.org/10.3390/buildings12081191

Jain, R., Dhingra, S., Joshi, K., Rana, A., & Goyal, N. (2023). Enhance traffic flow prediction with Real-Time Vehicle Data Integration. *Journal of Autonomous Intelligence*. https://doi.org/10.32629/jai.v6i2.574

Kim, C., Oh, D.-K., Park, J., & Kang, D. (2023). *Consumer surplus estimation comparisons on a Korea highway network master plan*. 660–666. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.085

Labee, P., Rasouli, S., & Liao, F. (2022). The implications of Mobility as a Service for urban emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103128

Lan, Z., Rong, Y., & Li, F. (2025). Accuracy impact analysis for speed-based dynamic updates of regional road-traffic noise emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104578

Li, B., Zhuang, W., Zhang, H., Sun, H., Liu, H., Zhang, J., Yin, G.-D., & Chen, B. (2024). Traffic-Aware Ecological Cruising Control for Connected Electric Vehicle. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, *10*, 5225–5240. https://doi.org/10.1109/TTE.2023.3325403

Liu, J., Han, K., Chen, X., & Ong, G. (2018). Spatial-temporal inference of urban traffic emissions based on taxi trajectories and multi-source urban data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. https://doi.org/10.1016/J.TRC.2019.07.005

Lom, M., & Přibyl, O. (2021). Smart city model based on systems theory. *Int. J. Inf. Manag.*, *56*, 102092. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102092

Lopes, M., & Alves, F. (2021). Digital Tools to Foster Inclusiveness: Porto's System of Accessible Itineraries. *Sustainability*, *13*, 5840. https://doi.org/10.3390/SU13115840

Lusikka, T., Kinnunen, T., & Kostiainen, J. (2020). Public transport innovation platform boosting Intelligent Transport System value chains. *Utilities Policy*, *62*, 100998. https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100998

Morfoulaki, M., & Chatziathanasiou, M. (2023). Assessing Knowledge Performance for the Fast-Track Delivery of Sustainable Mobility Solutions. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su16010039

Nessari, S., Ghanavati-Nejad, M., Jolai, F., Bozorgi-Amiri, A., & Rajabizadeh, S. (2024). A data-driven decision-making approach for evaluating the projects according to resilience, circular economy and industry 4.0 dimension. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, *134*, 108608. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108608

North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678

Nur, K., & Gammons, T. (2019). The benefits of accessing transport data to support intelligent mobility. *Autonomous Vehicles and Future Mobility*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817696-2.00008-1

OECD. (2019). *Enhancing Access to and Sharing of Data*. OECD. https://doi.org/10.1787/276aaca8-en

Ostrom, E. (1990). Governing the commons: the evolution of institutions for collective action. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. https://doi.org/10.2307/3146384

Pascale, A., Macedo, E., Guarnaccia, C., & Coelho, M. (2023). Smart mobility procedure for road traffic noise dynamic estimation by video analysis. *Applied Acoustics*. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109381

Pigou, A. C. (1920). The economics of welfare. In *The Economics of Welfare*. https://doi.org/10.4324/9781351304368

Pretzsch, S., Drees, H., & Rittershaus, L. (2022). *Mobility Data Space: A Secure Data Space for the Sovereign and Cross-Platform Utilization of Mobility Data*. 343–361. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93975-5_21

Rochet, J.-C., & Tirole, J. (2003). Platform Competition in Two-Sided Markets. *Journal of the European Economic Association*, *1*(4), 990–1029. https://doi.org/10.1162/154247603322493212

Schreieck, M., Pflügler, C., Setzke, D. S., Wiesche, M., & Krcmar, H. (2018). *Improving Urban Transportation: an Open Plat-Form for Digital Mobility Services*. 479–489. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49275-8_43

Shaw, M. J., Shapiro, C., & Varian, H. R. (2000). Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy. *The Academy of Management Review*, *25*(2). https://doi.org/10.2307/259025

Soriano, F., Samper-Zapater, J., Martínez-Durá, J. J., Cirilo-Gimeno, R., & Plume, J. M. (2018). Smart Mobility Trends: Open Data and Other Tools. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, *10*, 6–16. https://doi.org/10.1109/MITS.2017.2743203

Stiglitz, J. E. (2000). The Contributions of the Economics of Information to Twentieth Century Economics. *The Quarterly Journal of Economics*, *115*(4), 1441–1478. https://doi.org/10.1162/003355300555015

Stocker, A., Kaiser, C., Lechner, G., & Fellmann, M. (2024). A Conceptual Framework for Mobility Data Science. *IEEE Access*, *12*, 117126–117142. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3445166

Tomej, K., & Liburd, J. (2019). Sustainable accessibility in rural destinations: a public transport network approach. *Journal of Sustainable Tourism*, *28*, 222–239. https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1607359

Tran, M., & Draeger, C. (2021). A data-driven complex network approach for planning sustainable and inclusive urban mobility hubs and services. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *48*, 2726–2742. https://doi.org/10.1177/2399808320987093

Turoń, K., & Kubik, A. (2021). Open Innovation in the Shared Mobility Market. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. https://doi.org/10.3390/joitmc7040212

Turoń, K., & Kubik, A. (2022). *Open Innovation—Opportunities or Nightmares for the Shared Transport Services Sector?* https://consensus.app/papers/open-innovation%E2%80%94opportunities-or-nightmares-for-the-turo%C5%84-kubik/4d3c7b4f25e15354a84b545ea7c51708/

UNDP. (2022). *Governance for Digital Public Infrastructure: A Framework for Action*. https://www.undp.org/publications/governance-digital-public-infrastructure

Wang, Q., Ju, F., Wang, H., Qian, Y., Zhu, M., Zhuang, W., & Wang, L. (2024). Multiagent Reinforcement Learning for Ecological Car-Following Control in Mixed Traffic. *IEEE*

Transactions on Transportation Electrification, *10*, 8671–8684. https://doi.org/10.1109/TTE.2024.3383091

Wen, Y., Wu, R., Zhou, Z.-H., Zhang, S., Yang, S., Wallington, T., Shen, W., Tan, Q., Deng, Y., & Wu, Y. (2022). A data-driven method of traffic emissions mapping with land use random forest models. *Applied Energy*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117916

Wen, Y., Zhang, S., Zhang, J., Bao, S., Wu, X., Yang, D., & Wu, Y. (2020). Mapping dynamic road emissions for a megacity by using open-access traffic congestion index data. *Applied Energy*, *260*, 114357. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114357

Williamson, O. E. (2000). The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead. *Journal of Economic Literature*, *38*(3), 595–613. https://doi.org/10.1257/jel.38.3.595

Wolff, M., Scheuer, S., & Haase, D. (2020). Looking beyond boundaries: Revisiting the rural-urban interface of Green Space Accessibility in Europe. *Ecological Indicators*. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106245

Zawieska, J., & Pieriegud, J. (2018). Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation. *Transport Policy*, *63*, 39–50. https://doi.org/10.1016/J.TRANPOL.2017.11.004

Zhang, L., Zhang, M., Jian, & Ge, J. (2021). A Data-Driven Control Strategy for Urban Express Ramp. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2021*. https://doi.org/10.1155/2021/6540972

Zhao, Y., Goulias, D., & Peterson, D. (2021). Recycled Asphalt Pavement Materials in Transport Pavement Infrastructure: Sustainability Analysis & Metrics. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su13148071