

Indikatoren zur Bewertung zukünftiger urbaner Mobilitätsszenarien

Tobias Rüb¹, Nora Baumgartner^{1,2*}, und Kira Schumacher^{1,2}

¹ *Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)*

² *Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU)*

* *Corresponding author: nora.baumgartner@kit.edu*

Kurzfassung

Mobilität ist ein zentraler Faktor moderner Gesellschaften, mit sowohl wirtschaftlicher als auch sozialer Relevanz. In ihrer jetzigen Form verursacht Mobilität jedoch eine Reihe negativer Auswirkungen für Mensch und Umwelt, die von der Emission von Treibhausgasen, Luftschadstoffen und Lärmbelastung bis hin zu Flächenverbrauch und hohem Ressourcenverbrauch reichen. Vor diesem Hintergrund besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass die heutigen Verkehrs- und Mobilitätssysteme transformiert und nachhaltiger gestaltet werden müssen. Mobilitätsindikatoren haben sich in diesem Rahmen als nützliches Instrument zur Unterstützung der Politikgestaltung und -bewertung erwiesen. In der vorliegenden Arbeit wird das Indikatorensystem aus dem SuMo-Rhine Projekt zur Nachhaltigkeitsbewertung gegenwärtiger und zukünftiger urbaner Mobilitätskonzepte am Fallbeispiel der Karlsruher Oststadt angewendet. Anhand des Beispiels wird gezeigt, wie sensitiv die Bewertungsindikatoren in verschiedenen Zukunftsszenarien auf Veränderungen im Mobilitätssystem reagieren. In Hinblick auf die gewählten Anpassungen im Mobilitätssystem des definierten Untersuchungsraums, können somit Änderungen in den Nachhaltigkeitsperformances der Indikatoren erfasst und bewertet werden.

1 Einleitung

Aktuelle Transformationsbestrebungen im Verkehrs- und Mobilitätssektor sind vorrangig durch ambitionierte Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsziele getrieben, wie sie z.B. im Klimaschutzplan der Bundesregierung festgelegt sind (BMU, 2016, S. 49 ff.). Im Kontext der Städte- und Kommunalplanung wird konkret gefordert, den Flächen- und Ressourcenverbrauch, die Lärmbelastung sowie den Schadstoffausstoß zu senken, um die Ziele der Umwelt-, Klima- und Gesundheitspolitik zu erreichen und damit insgesamt die Lebensqualität

zu erhöhen (Umweltbundesamt, 2017, S. 8). Bei richtiger Auswahl erweisen sich Mobilitätsindikatoren als nützliches Instrument, um positive wie auch negative Effekte des Verkehrs zu erfassen, Handlungsbedarfe zu identifizieren und bereits umgesetzte Maßnahmen zur Gestaltung nachhaltiger Verkehrs- und Mobilitätskonzepte zu bewerten. Bestehende Indikatorensysteme sind häufig für ganze Regionen ausgelegt (Umweltbundesamt, 2015) verstehen sich als rein methodisches Werkzeug (Gillis et al., 2016; Vidović et al., 2019) oder erfassen nur spezifische Ausprägungen des Mobilitätssystems, wie z.B. die Fahrradinfrastruktur (Winters et al., 2013). Für den städtischen und kommunalen Raum bedarf es jedoch eines Bewertungsinstrument, das den Fokus auf die Anwendung im kleinräumigen Kontext legt und gleichzeitig das gesamte Mobilitätssystem erfasst. Außerdem ist es wichtig, neben der Planungs- und Entscheidungsebene auch die Öffentlichkeit einzubinden, um die Akzeptanz von Maßnahmen zur Förderung nachhaltiger Mobilität zu erhöhen (Banister, 2008). Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde vom Zentrum für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme (FeLis) der Universität Freiburg im Rahmen des Projekts SuMo-Rhine ein Indikatorensystem entwickelt.¹ Bisher fehlen jedoch breit angelegte Fallstudien, in denen das Indikatorensystem zur Anwendung kam.

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, Indikatoren als Instrument zur Nachhaltigkeitsbewertung gegenwärtiger und zukünftiger urbaner Mobilitätskonzepte auf Quartiersebene zu entwickeln und am Fallbeispiel der Karlsruher Oststadt anzuwenden. Dabei stützt sich die Nachhaltigkeitsbewertung auf ein im Rahmen des Forschungsprojektes SuMo-Rhine entwickeltes Indikatorensystem für kleine und mittelgroße Kommunen am Oberrhein und passt dieses an die spezifischen Anforderungen der Nachhaltigkeitsbewertung auf Quartiersebene an. Neben der Bewertung der Nachhaltigkeit des Mobilitätskonzepts im Ist-Zustand werden zwei mögliche Zukunftsszenarien entwickelt und mit dem Ist-Zustand verglichen. Im Fokus dieser Studie steht die Frage, wie sich die Nachhaltigkeit durch eine Verlagerung des öffentlichen und privaten Parkraums sowie einer Weiterentwicklung des Angebots des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) und der Förderung alternativer Mobilitätsangebote (z.B. Carsharing) in den Indikatoren widerspiegelt.

¹ Das Indikatorensystem wird im Rahmen des Interreg geförderten Projekts SuMo-Rhine (Juni 2018-Dezember 2021) entwickelt. Derzeit sind noch keine veröffentlichten Publikationen verfügbar. Daher wurden die Informationen zum SuMo-Rhine Indikatorensystem den Autoren zur Durchführung dieser Arbeit vom Zentrum für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme, insbesondere den Entwicklern, Janusch Vanja-Jehle, Dr. Klaus Markus Hofmann und Sven Decker unter der Leitung von Prof. Dr. Barbara Koch zur Verfügung gestellt. Des Weiteren waren an der Entwicklung des Indikatorensystems beteiligt: CNRS, UNISTRA-LIVE, ENSAS und KIT-ECON. Weitere Informationen zum Projekt sind unter diesem Link verfügbar: <https://sumo-rhine.com/>

Der Beitrag ist dabei wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 wird ein Überblick über relevante Literatur gegeben. In Kapitel 3 wird der Untersuchungsraum charakterisiert und Kapitel 4 beschreibt die Szenarien, welche die Basis für die Nachhaltigkeitsbewertung durch die Indikatoren darstellen. Kapitel 5 geht auf die Methoden zur Indikatorberechnung ein. Die Ergebnisse werden in Kapitel 6 beschrieben und abschließend in Kapitel 7 diskutiert und kritisch gewürdigt.

2 Literaturüberblick

2.1 Nachhaltige Mobilität: Ziele und Leitbilder

Ziele nachhaltiger Mobilität werden von verschiedenen politischen Entscheidungsebenen definiert. Die Europäische Kommission nennt Zielfelder und -richtungen wie die Erhöhung der Verkehrssicherheit, die Steigerung der Luftqualität, die Reduktion des Verkehrslärms und die Senkung der CO₂-Emissionen (Europäische Kommission, 2017, S. 7 ff.). Auf Bundesebene werden im Klimaschutzplan 2050 des Bundesministeriums für Umwelt (BMU) klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung genannt. Auch hier werden die Reduktion der Luftschadstoffe, Lärmemissionen und des Flächenverbrauchs sowie die Erhöhung der Verkehrssicherheit als Ziele beschrieben, um damit insbesondere die Lebensqualität in stärker besiedelten Räumen zu erhöhen (BMU, 2016, S. 49 ff.). Auf kommunaler Ebene hat beispielsweise die Stadt Karlsruhe das strategische Ziel formuliert „nachhaltige, zukunftsfähige, sichere und innovative Formen einer umweltverträglichen Mobilität für Karlsruhe sowie in die, aus der und innerhalb der Region [zu gewährleisten]“ (Stadt Karlsruhe, 2020a). Darauf basierend werden im Verkehrsentwicklungsplan der Stadt konkrete Ziele einer nachhaltigen Mobilitätsentwicklung und Verkehrsplanung abgeleitet (Stadtplanungsamt Karlsruhe, 2013, S. 11 ff.). Die allgemeine Zielsetzung einer nachhaltigen Mobilität liegt somit in der Begrenzung der negativen Auswirkungen des Verkehrsaufkommens und der Steigerung der Lebensqualität. Daneben ist es essenziell, die Mobilitätsteilhabe und somit die Akzeptanz von Maßnahmen weiterhin zu gewährleisten (Malley, 2000; Rat für Nachhaltige Entwicklung, 2015).

Leitbilder nachhaltiger Mobilität ergänzen Zielformulierungen und definieren den Handlungsrahmen zur Erreichung der Ziele. Das Leitbild „Stadt der kurzen Wege“ (Umweltbundesamt, 2011) geht konkret auf die Verkehrsvermeidung und -verlagerung ein und legt den Fokus auf eine integrierte Mobilitätsplanung unter Einbezug städteplanerischer Fragestellungen und gesellschaftlicher Entwicklungen (Umweltbundesamt, 2017). Im Leitbild „Stadt der kurzen Wege“ werden vor allem die Multifunktionalität und Nachverdichtung

von Stadtteilen, die Erleichterung der täglichen Mobilität und die damit verbundene schnelle und gute Erreichbarkeit thematisiert. Durch Push- und Pull Maßnahmen kann außerdem das Mobilitätsverhalten beeinflusst werden, indem die Attraktivität zielkonformer Mobilitätsangebote ausgebaut wird. So kann durch entsprechende Maßnahmen Verkehr vermieden und verlagert werden. Die Stadt Karlsruhe integriert ihre Zielsetzungen der Verkehrsvermeidung ebenfalls in das Konzept der „Stadt der kurzen Wege“ und auch das BMU sieht Handlungsfelder für den Verkehr in einer integrierten Stadtplanung und knüpft Forderungen zur Nahraumorientierung und einer bedarfsgerechten Umgestaltung des Straßenraums an das Leitbild der „Stadt der kurzen Wege“ (BMU, 2016, S. 51; Stadt Karlsruhe, 2020a).

Indikatorensysteme dienen der Wirkungsbewertung städtischer Ziele und Leitbilder hin zu nachhaltiger Mobilität. Im Folgenden wird daher auf in der Literatur genannte, gängige Bewertungsprozesse urbaner Mobilität näher eingegangen.

2.2 Nachhaltigkeitsbewertung im Anwendungsfall

Der in Abbildung 2.1 dargestellte Bewertungsprozess fasst die Erkenntnisse zum allgemeinen Vorgehen der Mobilitätsbewertung mit Nachhaltigkeitsindikatoren zusammen. Je Bewertungsschritt werden unterschiedliche Aspekte thematisiert und je nach Quelle mehr oder weniger ausführlich beschrieben.

Die Bewertungsansätze erfassen Aspekte der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeitsdimension. In einigen Publikationen werden diese weiter ausdifferenziert und durch zusätzliche Kategorien ergänzt (Gillis et al., 2016; vgl. Zito & Salvo, 2011). Für die Auswahl bewertungsrelevanter Indikatoren können mehrere Kriterien herangezogen werden (Joumard, 2010, S. 103 ff.; Umweltbundesamt, 2015, S. 41). Darüber hinaus wird der Auswahlprozess häufig durch Expertenworkshops begleitet und validiert (Rodrigues da Silva et al., 2010; Umweltbundesamt, 2015, S. 65 ff.).

Kriterien, die im Rahmen der Indikatorberechnung festgelegt werden, beziehen sich zum einen auf die bewertungsrelevanten Zielausprägungen der Nachhaltigkeit. Zum anderen werden auf Basis von Datenverfügbarkeit und -qualität Inputdaten eingeordnet, die für die Indikatorberechnung herangezogen werden (Rodrigues da Silva et al., 2015). Der Berechnungsprozess wird ausführlich beschrieben, wenn spezifische Ausprägungen des Mobilitätssystems erfasst und bewertet werden (Csonka & Csiszár, 2016; vgl. Dobesova & Krivk, 2012; Winters et al., 2013). Lediglich Gillis et al. (2016) gehen auf Berechnungsmethoden aller Indikatoren zur ganzheitlichen Bewertung des Mobilitätssystems ein. Im

Allgemein wird der Berechnungsprozess jedoch nicht ausführlich beschrieben, wenn das Mobilitätssystem als Ganzes bewertet wird.

Durch die Nachhaltigkeitsbewertung soll insbesondere der politische Entscheidungs- und Planungsprozess unterstützt werden, indem aus den Bewertungsergebnissen Handlungsbedarfe abgeleitet werden. Zudem wird das Ziel formuliert, die Nachhaltigkeitsperformances mehrerer Untersuchungsräume vergleichen zu können (Rodrigues da Silva et al., 2010; WBCSD, 2015). Dafür werden entweder Indizes erstellt, die die gesamte Performance zu einem Wert aggregieren (Rodrigues da Silva et al., 2015), oder es werden Performanceskalen angelegt, die einen Vergleich einzelner Indikatorwerte ermöglichen (WBCSD, 2015). Die Nachhaltigkeitsbewertung kann zudem als Kontrollwerkzeug eingesetzt werden, um die Wirkung bereits umgesetzter Maßnahmen evaluieren zu können (vgl. Redza & Bouillard, 2017).

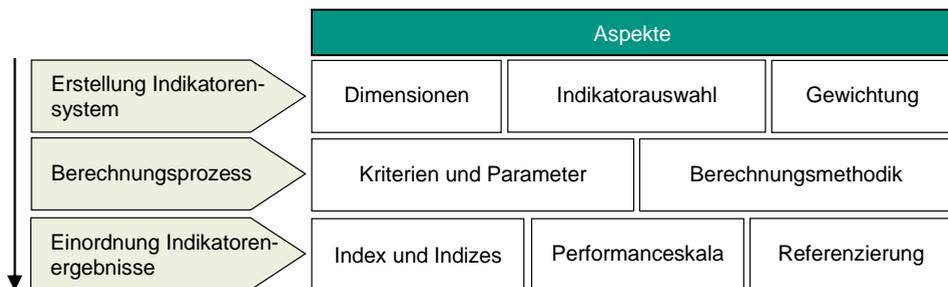


Abbildung 2.1: Bewertungsprozess - Bewertungsschritte und Ausprägungen (eigene Darstellung)

2.3 Mobilitätsbewertung unter Einbindung von Szenarien

Der Fokus der indikatorbasierten Bewertung von Mobilitätssystemen liegt zumeist auf der Analyse des Ist-Zustands. Mobilitätsszenarien erfassen dagegen häufig große Untersuchungsräume und legen den Fokus auf die Erfassung struktureller Veränderungen, wie beispielsweise das autonome Fahren oder die Elektromobilität (Deloitte; Kuhnert & Stürmer, 2016).

Im Kontext der stadtbezogenen Mobilitätsentwicklung werden dagegen konkrete raum-spezifische Fragestellungen und Maßnahmen im Rahmen der Szenarioanalyse diskutiert und bewertet (vgl. Bandeira et al., 2011; Okraszewska et al., 2018). Darin können auch ganzheitliche Stadtentwicklungspläne eingebunden sein, um Wirkungseffekte integrierter Stadt- und Mobilitätsplanung abbilden und bewerten zu können (Coppola & Silvestri, 2019). Um Entwicklungen im Mobilitätssystem abzuschätzen, werden vor allem

simulationsgestützte Modelle eingesetzt (Bandeira et al., 2011; Coppola & Silvestri, 2019; Gołda et al., 2017; Okraszewska et al., 2018). Damit können verkehrsbedingte Auswirkungen im Verkehr modelliert werden, die sich aus Anpassungen im Mobilitätskonzept und -verhalten ergeben. So fließen zum Beispiel bei Musso und Corazza (2006) Nachfrage-, Angebots- und Verkehrsmodelle in die Szenarioanalyse ein.

2.4 Einordnung des eigenen Ansatzes

Die bestehenden Ansätze zur Bewertung von Mobilitätssystemen lassen sich in verschiedene thematische Cluster einsortieren (Abbildung 2.2). Der in der vorliegenden Studie gewählte Ansatz lässt sich darin zwischen Ist-Zustand- und Szenarioanalyse einordnen und betrachtet das ganzheitliche Mobilitätssystem. Da dieses als Ganzes erfasst wird, werden einzelne Ausprägungen nicht in dem spezifischen Maße untersucht, wie dies in der Literatur recherchiert werden konnte. Insbesondere bei der Szenarioanalyse ist den Autoren kein Ansatz bekannt, der das Mobilitätssystem auf Stadtteilebene als Ganzes erfasst. Hier knüpft der vorliegende Beitrag an und schließt die dargelegte thematische Lücke. Da im eigenen Ansatz keine Simulationsmodelle eingebunden sind, folgen hieraus keine methodischen Gemeinsamkeiten mit bestehenden Ansätzen, in denen mobilitätsplanerische oder städtebauliche Wirkungen bewertet werden.

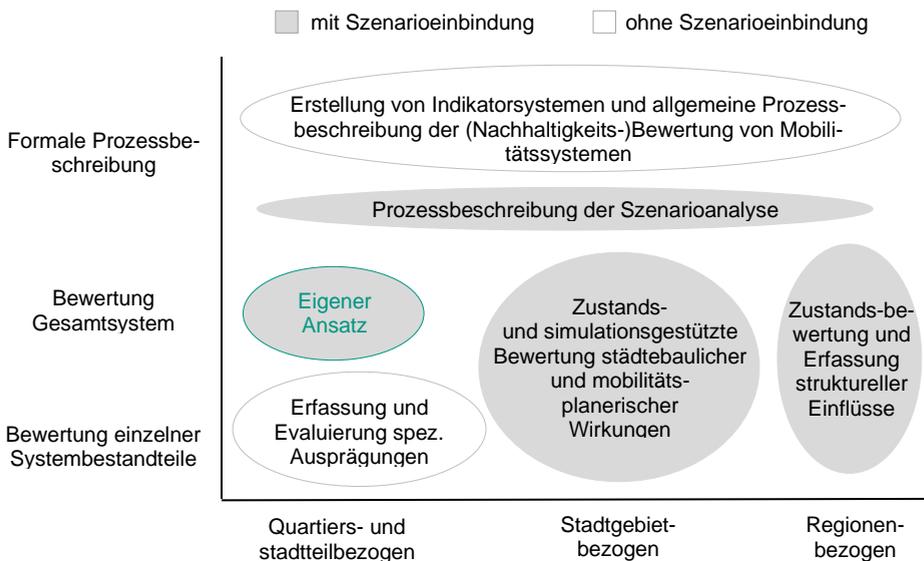


Abbildung 2.3: Thematische Cluster und Einordnung des eigenen Ansatzes (eigene Darstellung)

3 Anwendungsbeispiel Karlsruher Oststadt

3.1 Charakterisierung des Untersuchungsraums

Für diese Arbeit wird das ehemalige Gründerzeitquartier der Karlsruher Oststadt als kleinräumig abgeschlossenes System betrachtet. Auf den Quartiersgrenzen sind S-Bahngleise verlegt, sodass lediglich an wenigen Stellen Straßenübergänge vorhanden sind. Quartiersgrenzen werden somit als natürliche Barrieren definiert (Abbildung 3.1).

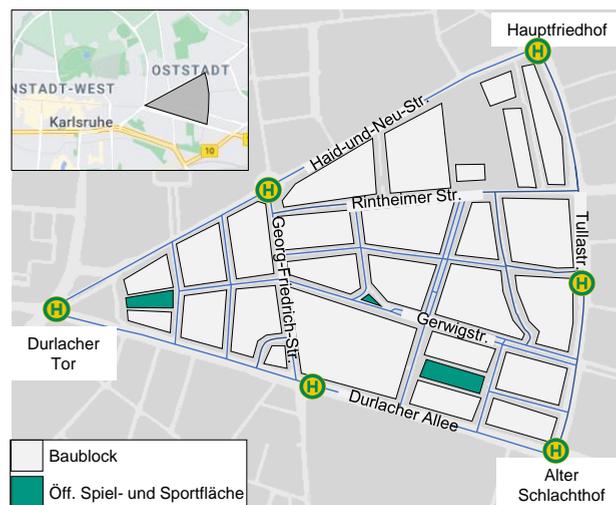


Abbildung 3.1: Untersuchungsraum - Gründerzeitquartier in der Karlsruher Oststadt (eigene Darstellung)

In Tabelle 3.1 werden quartiersbezogene Charakteristika zusammengefasst. Diese dienen den Indikatoren als Berechnungs- oder Bezugswerte. Alle Strecken- und Flächenberechnungen erfolgen in AutoCAD und basieren auf dem Kartenmaterial, das bei der Stadt Karlsruhe (2020b) im Geo-Shop beantragt werden kann. Das Straßennetz wird in AutoCAD über Polylinienberechnungen abgeschätzt. Das Fußwegenetz ist als Kartenlayer in die Katasterkarten eingebunden. Die Parkflächen sind teilweise in die Katasterkarten eingepflegt und wurden durch einen durchgeführten Raumaudit ergänzt. Aus den Gesamt- und Durchschnittsflächen der einzelnen Parkplatztypen (Jocher & Loch, 2012, S. 120 ff.) wird anschließend die Anzahl der Parkplätze berechnet.

Tabelle 3.1: Quartiersquarakteristika (eigene Darstellung basierend auf Stadt Karlsruhe (2020b))

Charakteristika	Differenzierung	Wert	Einheit	Datenquelle	Aufbereitung
Gesamtfläche	-	0,44	km ²	Katasterkarten	AutoCAD
Wegenetz Straße	-	4.48	m		
Wegenetz Bürgersteig	-	11.78	m		
Bevölkerung	-	7.88	Anzahl	Bevölkerungsdaten des Statistikamt Karlsruhe	
öffentliche Parkflächen und -plätze	Stellplatz	20.52	m ²	Katasterkarten	AutoCAD
		1801	Parkplätze	-	-
	Anteil öff. Parkplätze	0,55	[0,1]	-	-
private Parkflächen und -plätze	Tiefgaragen-, Garagen- und regulärer Stellplatz	24.55	m ²	Katasterkarten	AutoCAD
		1.49	Parkplätze	-	-
	Anteil priv. Parkplätze	0,35	[0,1]	-	-

3.2 Bestimmung des Pkw-Verkehrsaufkommens im Quartier

Im Rahmen der Profilregion Mobilitätssysteme Karlsruhe wird für diese Arbeit von Projektpartnern des Instituts für Verkehrswesen (IfV KIT) ein Modellausschnitt zur Bestimmung der durchgeführten Wege der Oststadtbewohner zur Verfügung gestellt. Damit können Aussagen zum Mobilitätsverhalten der Oststadt- und Quartiersbewohner getroffen werden. In dieses Modell sind Bevölkerungsdaten des Statistikamts Karlsruhe implementiert. Diese erfassen sozioökonomische Charakteristika der Oststadtbewohner wie Wohnort, Alter, Haushaltsgröße, Geschlecht und Berufsstand. Das Modell zur Bestimmung der durchgeführten Wege basiert auf Modellschätzungen, die ausgehend von Erhebungen tatsächlich durchgeführter Wege innerhalb Karlsruhes erstellt sind. Einflüsse auf die Verkehrsmittelwahl werden darin mit verschiedenen Aspekten wie den sozioökonomischen Daten der Oststadtbewohner, Reisezeit, Wegstrecke und Wegzwecke operationalisiert.

Es wird angenommen, dass das Gesamtverkehrsaufkommen im Quartier durch die Anzahl der Pkw-Fahrten aus dem Modell der durchgeführten Wege der Oststadtbewohner abgeschätzt werden kann. Da das Quartier als Wohn- und Mischquartier mit Zone 30 km/h charakterisiert ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil des Durchgangs- und Besucherverkehrs innerhalb des Quartiers marginal ist. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass im Verkehrsmodell Wirtschaftsverkehr nicht erfasst ist. Somit ergeben sich für das Gesamtverkehrsaufkommen im Quartier folgende Ergebnisse, die in Tabelle 3.2 dargestellt sind.

Tabelle 3.2: Anzahl der Pkw-Fahrten pro Tag innerhalb des Quartiers (eigene Darstellung basierend auf dem Modell durchgeführter Wege des IfV)

	Gesamtanzahl	Anteil	Datenquelle
Gesamtanzahl der Fahrten mit Quell- und / oder Zielort im Quartier	5535	100,00%	Modell durchgeführter Wege mit der Anzahl der Pkw-Fahrten von Oststadtbewohnern
Anzahl der Fahrten mit Quell- und / oder Zielort im Quartier von Quartiersbewohnern	5297	95,70%	
Anzahl sonstiger Fahrten mit Quell- und / oder Zielort im Quartier	222	4,01%	
Gesamtanzahl der Carsharing-Fahrten mit Quell- und / oder Zielort im Quartier	16	0,29%	

4 Szenario-Erstellung und -Analyse im Anwendungsfall

4.1 Feldbestimmung und inhaltliche Ausgestaltung

Untersucht werden Veränderungen in der Nachhaltigkeitsperformance, die sich durch die Weiterentwicklung des Mobilitätskonzepts im Anwendungsfall ergeben. Als Basisjahr wird 2020 definiert. Es werden jeweils die aktuellsten, verfügbaren Daten verwendet, um den Ist-Zustand zu definieren. Die Szenarien erfassen somit Entwicklungen in den darauffolgenden 10 Jahren, die sich an den in *Kapitel 2.1* beschriebenen Zielen und Leitbildern orientieren. Da das Quartier als kleinräumig abgeschlossenes System betrachtet wird, ist auch das Gestaltungsfeld der Szenarien auf die räumlichen Grenzen des Quartiers beschränkt. Bis auf wenige strukturelle Anpassungen des CO₂- und Schadstoffausstoß sowie der Elektrifizierungsrate im Flottenbestand werden keine externen Größen des Umfelds in den Szenarioerstellungsprozess eingebunden. Der Betrachtungszeitpunkt der Szenarien wird auf das Jahr 2030 festgelegt, da unter anderem konkrete Zielwerte für den CO₂-Ausstoß für 2030 vorliegen (Guske, 2019).

Schwerpunkte der inhaltlichen Ausgestaltung liegen zum einen auf der Parkraumverlagerung an die Quartiersränder sowie der Einfahrtsbeschränkung in das Quartier. Damit werden infrastrukturseitige Maßnahmen implementiert, woraus sich städtebauliche Potenziale ergeben (vgl. Beitrag 1 in diesem Band). Zum anderen werden Maßnahmen im Mobilitätsangebot in die Szenarien eingebunden, damit es aufgrund der Parkraumverlagerung und Einfahrtsbeschränkung zu keinen Teilhaberrestriktionen kommt. Die Storylines berücksichtigen dabei sowohl quantitative und qualitative Ergänzungen im bereits bestehenden Angebot als auch die Erweiterung durch neue Mobilitätsangebote. Der qualitative

Ausbau ist konkret durch eine Elektrifizierung des Sharing-Angebots ausgestaltet. Neue Mobilitätsangebote werden ebenfalls elektrisch betrieben und fahren darüber hinaus autonom innerhalb der Quartiersgrenzen.

Neben strukturellen Anpassungen ergeben sich somit zwei Schwerpunktbereiche, die die inhaltliche Ausgestaltung der Szenarien charakterisieren. Die thematischen Punkte sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Thematische Ausgestaltung der Szenarien im Anwendungsfall (eigene Darstellung)

		Szenario 1	Szenario 2
infrastruktur-seitige Maßnahmen	Veränderung des Parkraums	Reduktion öffentlicher Parkplätze um 80% innerhalb des Quartiers	zusätzlich: Abschaffung privater Parkplätze innerhalb des Quartiers
		Umwandlung verbliebener Parkplätze	
	Schaffung zusätzlichen Parkraums am Quartiersrand		
	Quartiers-einfahrt	-	Quartiereinfahrt stark eingeschränkt
Ausbau des Mobilitäts-angebots	ÖPNV	-	elektrifizierte, autonome Klein-busse
	Carsharing	Ausbau des Stationsnetz und Steigerung der Angebotsqualität	
strukturelle Anpassungen	Elektrifi-zierung	30% der Neuwagen elektrifiziert, 40% der Neuwagen Hybrid	
		100% der Carsharing-Fahrzeuge elektrifiziert	
	CO ₂ -Aus-stoß	CO ₂ -Ausstoß für Neuwagen bei 59,82 g (CO ₂) / km	
	Euronorm	100% Euro 6 bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen	

4.2 Identifikation von Schlüsselfaktoren

Schlüsselfaktoren sind zentrale Größen, die das Szenariofeld beschreiben und deren Veränderung sich besonders auf die Szenarien auswirken (Kosow et al., 2008). Um Schlüsselfaktoren identifizieren zu können, werden alle identifizierten Einflussgrößen einer Einflussanalyse unterzogen. So können Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren und Indikatoren innerhalb der Szenarien identifiziert werden. Exogene Einflussfaktoren ergeben sich aus den Storylines der Szenarien und beschreiben infrastrukturseitige Maßnahmen sowie den Ausbau des Mobilitätsangebot (Tabelle 4.2). Endogene Einflussfaktoren beschreiben das Besitz- und Nutzungsverhalten des Motorisierten Individualverkehrs (MIVs). Verkehrsbedingte Auswirkungen verändern sich somit sowohl durch exogene als auch durch endogene Einflüsse.

Tabelle 4.2: Einflussanalyse (eigene Darstellung)

		Indikatoren														Aktivsumme							
		Motorisierungsrate	Pkw-Nutzungshäufigkeit	Carsharing-Nutzungshäufigkeit	Verkehrsaufkommen	Modal Split	Parkdruck im Quartier	Fahradfreundlichkeit	ÖPNV-Angebotsqualität	Flottenfußabdruck	CO ₂ -Emissionen	Flächendegradation	Angebotsvielfalt	Fußgängerfreundlichkeit	Verkehrslärm		Luftqualität	Verkehrssicherheit	Digitalisierung	Elektrifizierung	Sharing		
Einflussfaktoren	exogen	Parkraumverlagerung	x	x	x		x	x	x		x	x		x	x	x	x				x	13	
		Ausbau Carsharing	x	x	x		x	x	x	x		x			x	x	x	x				x	13
		Einfahrtseinschränkung	x	x	x		x	x	x		x				x	x	x	x			x	x	13
		Ausbau ÖPNV-Angebot			x		x		x	x		x			x	x	x	x				x	9
	endogen	Motorisierungsrate		x	x		x	x	x		x				x	x	x	x			x	x	12
		Pkw-Nutzungshäufigkeit			x	x	x		x		x				x	x	x	x				x	10
		Carsharing-Nh				x	x		x		x				x	x	x	x				x	9
		Verkehrsaufkommen						x								x	x	x	x				5
	strukturell	CO ₂ -Reduktion									x	x					x						3
		Euronorm									x	x					x						3
Elektrifizierung										x	x					x				x		4	

Als Schlüsselfaktoren werden diejenigen Einflussgrößen charakterisiert, die aufgrund ihrer Einflusswirkungen hohe Aktivsummen erzielen. Für diese Arbeit werden deshalb die Parkraumverlagerung, der Ausbau des Carsharings, die Einfahrtsbeschränkung, der Ausbau des ÖPNV-Angebots sowie die endogen festgelegten Einflussgrößen als Schlüsselfaktoren festgelegt. Auf die Schlüsselfaktoren wird im Folgenden näher eingegangen.

Strukturelle Änderungen ergeben sich aus individuellen und gesellschaftlichen Trends und Entwicklungen. Die Wirkungen struktureller Einflüsse werden jedoch prinzipiell als gering angegeben, da diese zu den schwer quantifizierbaren subjektiven Einflussgrößen zählen (vgl. Boltze et al., 2002, S. 24 ff.). Lediglich die Motorisierungsrate wird durch strukturelle Änderungen stark beeinflusst, da angenommen wird, dass sich die Autofixierung in innenstadtnahen Quartieren bis 2030 weiter reduziert (vgl. Zeit Online, 2018). Außerdem wird davon ausgegangen, dass sich Trends der gemeinschaftlichen Nutzung fortführen, sodass sich strukturelle Einflüsse auch auf die Carsharing-Nutzungshäufigkeit auswirken (vgl. Gossen, 2012).

4.3 Analyse exogener Schlüsselfaktoren

Schlüsselfaktoren, die das Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs charakterisieren, werden im Rahmen einer morphologischen Analyse untersucht und quantifiziert. Dazu werden zuerst Wirkungsstärken qualitativ festgelegt und anschließend quantitative Wirkungseffekte definiert, die im Rahmen eines Expertenworkshops mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Projekts "Profilregion Mobilitätssysteme Karlsruhe" im Oktober 2020 diskutiert und validiert wurden.

Ausgehend von den quantitativen Wirkungseffekten exogener Einflussgrößen werden Änderungen im Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs berechnet. Diesen Berechnungen liegen Erkenntnisse über die Wirkung von Einflussfaktoren auf das Mobilitätsverhalten zugrunde. Dazu zählen zum einen Zeit- und Kostenelastizitäten (van Grol et al., 2016, S. 170 ff.), auf Basis derer Verlagerungseffekte argumentativ begründet werden können. Zum anderen basieren die Einschätzungen auf Verhaltenscharakteristika bezüglich des MIVs, die sich ebenfalls aus Erkenntnissen recherchierter Literatur ergeben. Dazu zählen Wirkungspotenziale von Push- und Pull-Maßnahmen auf das Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs sowie routinierte Verhaltensmuster im Mobilitätsverhalten (Doll et al., 2019, S. 83 ff.; Gossen, 2012, S. 41 ff.; Nehrke & Loose, 2018, S. 20 f.). Außerdem wird angenommen, dass auch endogene Einflussfaktoren wie Verfügbarkeit und Nutzungshäufigkeit selbst auf Parameter des Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs wirken (Gossen, 2012, S. 39; Nehrke & Loose, 2018, S. 20 f.).

4.4 Anpassung im Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs

Im Ist-Zustand beträgt die Motorisierungsrate in der Karlsruher Oststadt 431 Pkw pro 1000 Einwohner (Stadt Karlsruhe, 2019, S. 136). Aufgrund der Verlagerung öffentlicher Parkplätze wirkt sich die Reduktion der Motorisierungsrate in Szenario 1 nicht gleichmäßig auf alle Quartiersbewohner aus. Die Gesamtreduktion der Motorisierungsrate berücksichtigt die jeweiligen Anteile derjenigen Bewohner, die auf privaten bzw. öffentlichen Parkflächen parken. In den Szenarien ergeben sich somit Änderungen, die in Tabelle 4.3 dargestellt sind.

Die Pkw- und Carsharing-Nutzeranteile werden in Nutzungssegmenten angegeben (Stadt Karlsruhe, 2018, S. 13). Es ergeben sich nach Normierung auf eine einheitliche Referenzeinheit folgende Nutzungssegmente: „6 Tage die Woche“, „3,5 Tage die Woche“, „1,5 Tage die Woche“, „0,5 Tage die Woche“, „0,125 Tage die Woche oder seltener“. Verlagerungseffekte in den Nutzungsanteilen je Segment basieren auf den berechneten Wirkungsstärken exogener und endogener Einflussfaktoren. Auf Basis der Erkenntnisse zum

Nutzungsverhalten kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Wirkungen unterschiedlich stark auf die einzelnen Nutzeranteile wirken. So wird im Weiteren davon ausgegangen, dass sich der Anteil der täglichen Pkw- und Carsharing-Nutzung aufgrund der robusten Verhaltenspräferenz der Personen dieses Nutzungssegments nicht verändert.

Tabelle 4.3: Veränderte Motorisierungsrate für das Quartier (eigene Darstellung, basierend auf (Stadt Karlsruhe, 2019, S. 136))

	öffentliche Parkplätze	private Parkplätze	Gesamt
Ist-Zustand	-	-	0,43
Szenario 1	0,34	0,39	0,36
Szenario 2	0,30	0,30	0,30

Im Ist-Zustand ergibt sich das Verkehrsaufkommen aus der modellierten Anzahl durchgeführter Wege mit dem Pkw (vgl. Kapitel 3.2). Aus den jeweiligen Pkw- und Carsharing-Anteilen in den wöchentlichen Nutzungshäufigkeiten kann nun die Abweichung berechnet werden, die bei einer zufälligen Messung an einem Werktag innerhalb des Quartiers erfasst würde. Die prozentuale Veränderung des Verkehrsaufkommens berechnet sich für die Szenarien folgendermaßen:

$$\Delta \text{Verkehrsaufkommen für Typ } j := 1 - \left(\frac{\sum_{s=1}^5 g_{s,i} * a_{s,i} * w_{s,i}}{\sum_{s=1}^5 a_{sI} * w_{sI}} \right)$$

$g_{s,i}$ = Gewichtungsfaktor zur Charakterisierung des Verkehrsaufkommens innerhalb des Quartiers für Nutzungshäufigkeit s und Szenario i

$a_{s,i}$ = Anteil Nutzungshäufigkeit in Segment s und Szenario i

$w_{s,i}$ = Anteil der Nutzungstage des Segments s an Gesamtwoche (6-Tage-Woche)

Berechnung liegt zugrunde, dass aus den Pkw-Nutzungshäufigkeiten nicht auf das Verkehrsaufkommen im Quartier geschlossen werden kann, sodass der jeweilige Anteil in den Nutzungshäufigkeiten zusätzlich durch Gewichtungsfaktoren [0,1] beeinflusst wird. In Szenario 1 wird somit angenommen, dass lediglich 1/3 aller täglichen Fahrten von Personen ohne privaten Stellplatz in das Quartier hinein erfolgen. Für Szenario 2 wird dagegen angenommen, dass aufgrund der Zugangsbeschränkung lediglich 1% aller Fahrten von Quartiersbewohnern in das Quartier hinein bzw. heraus erfolgen (können) und dass alle anderen Fahrten an den Quartiersgrenzen beginnen und enden. Somit ergeben sich folgende Anpassungen im Verkehrsaufkommen, die in Tabelle 4.4 dargestellt sind.

Tabelle 4.4: Verkehrsaufkommen im Quartier im Ist-Zustand und den Szenarien (eigene Darstellung basierend auf Berechnung Δ Verkehrsaufkommen für Typ j)

Differenzierung nach Typ j	Ist-Zustand	Szenario 1	Anteil	Szenario 2	Anteil
Pkw (Quartiersbewohner)	5297	3673	69,34%	44	0,83%
Pkw (Sonstige)	222	129	58,12%	0	0,00%
Carsharing	16	22	137,50%	25	156,25%
Pkw (Oststadt gesamt)	5535	3823	69,07%	70	1,26%

5 Methodik der Indikatorberechnung

Das Indikatorensystem wurde im Rahmen des SuMo-Rhine Projekts zur „Unterstützung der Identifikation spezifischer Mobilitätshandlungsfelder auf [kleinräumiger] kommunaler Ebene“ entwickelt (SuMo-Rhine). Damit unterscheidet sich das Set bereits in seiner Zielausrichtung von den betrachteten Quellen (vgl. Kapitel 2.2), in denen der räumliche Fokus auf ganze Stadtgebiete gelegt wird. Einzelne Indikatoren aus dem Set werden im Anwendungsfall nicht betrachtet, wenn durch die Datenlage im Ist-Zustand eine zuverlässige Bewertung des Indikators nicht gewährleistet werden kann. Indikatoren werden auch dann nicht betrachtet, wenn sich für Indikatoren aufgrund festgelegter Raumgrenzen und charakteristischer Merkmale des Untersuchungsraums keine räumliche Relevanz ergibt. Somit werden im Anwendungsfall 15 der ursprünglich 25 SuMo-Rhine Indikatoren angewendet.

Im Anwendungsfall ergeben sich außerdem Anpassungen bei der Parameterauswahl und -berechnung. Zusätzliche Parameter werden hinzugenommen, wenn diese aus der Literaturrecherche als bewertungsrelevante Aspekte identifiziert werden konnten und eine Bewertung im Rahmen der Zielsetzung^{des} Anwendungsfalls sinnvoll erscheint. So werden für die Bewertung der Fahrradfreundlichkeit zusätzlich zu den infrastruktureitigen Bewertungsparametern auch Sicherheitsaspekte betrachtet. Zur Bewertung der Fußgängerfreundlichkeit werden Trenneinrichtungen, Knotenpunktregelung, Geschwindigkeitsbegrenzung, Straßenklassierung und Grünanteil als Parameter erfasst (vgl. Tran et al., 2017). Die Bewertung der ÖPNV-Angebotsqualität basiert auf sechs Parametern (Mobilitätsangebot, Linienanzahl, Barrierefreiheit, intermodale Anbindung, Betriebsfrequenz, Betriebsdauer). Diese werden so angepasst, dass untersuchungsraumspezifische Ausprägungen berücksichtigt werden können. So werden im Rahmen des Bewertungsparameters Intermodale Anbindung, Carsharing- und Bikesharing-Stationen anstelle von Park and Ride und Fernverkehrsverbindungen betrachtet, um damit der

Raumcharakterisierung als Innenstadtquartier gerecht zu werden. Den Ausprägungen je Parameter werden anschließend Gewichtungsfaktoren zugewiesen, auf Basis derer Maßnahmen, die zu einer Steigerung der Angebotsqualität führen, berechnet werden können.

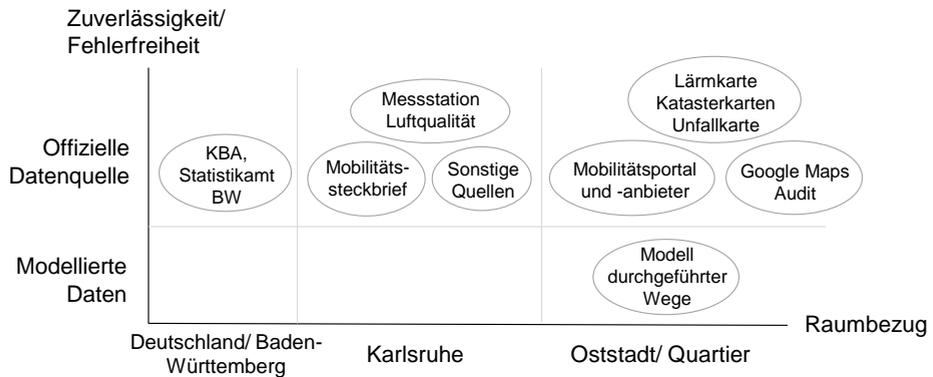


Abbildung 5.1: Datenmanagement: Einordnung der Datenquellen nach Raumbezug und Fehlerfreiheit (eigene Darstellung)

Anschließend werden für die Bewertung erforderlichen Inputdaten zusammengetragen und aufbereitet. Die jeweiligen Datenquellen werden nach Raumbezug und Zuverlässigkeit eingeordnet, um die Interpretierbarkeit der Bewertungsergebnisse unter Berücksichtigung der Datenqualität zu erleichtern (Abbildung 5.1). Aus den Zulassungsdaten des Kraftfahrtbundesamts (KBA, 2010, KBA, 2012, KBA, 2014, KBA, 2016, KBA, 2018, KBA, 2020) werden die durchschnittlichen Emissionen im Fahrzeugbestand errechnet.



Abbildung 5.2: GIS-Analyse in Auto CAD (eigene Darstellung, basierend auf eigenen Berechnungen und Daten aus den Katasterkarten und des Mobilitätsportals der Stadt Karlsruhe (Stadt Karlsruhe) sowie privaten Anbietern (KVV, 2020a, KVV, 2020b; Stadtmobil Karlsruhe)

Daraufhin werden sinnvolle Bezugseinheiten der Indikatorwerte gewählt. Sofern umsetzbar, werden die Indikatorperformances im Intervall [0,1] normiert, um die Interpretierbarkeit der Ergebnisse zu erleichtern. Diejenigen Indikatoren und Parameter, die auf infrastruktureitige Bezugseinheiten referenziert sind, werden im Rahmen einer GIS-Analyse in AutoCAD aufbereitet (vgl. Abbildung 5.2). Die jeweiligen Anteile der Ausprägungen am Wegenetz (Straßen-, Fußwege-, oder Routennetz) werden durch Polylinienberechnungen in AutoCAD abgeschätzt. So können die Parameterperformances für die Fußgängerfreundlichkeit, Fahrradfreundlichkeit und Lärmbelastung angegeben werden. Außerdem werden so Haltestelleneinzugsbereiche für die ÖPNV-Angebotsqualität für die Bewertung der Haltestellen berücksichtigt.

$$\text{Gesamtindex Fußgängerfreundlichkeit } I = \frac{1}{p} * \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k (\text{Anteil}_{i,j} * w_{i,j}) ,$$

[0,1]

p = Anzahl Parameter (Trenneinrichtung, Geschwindigkeitsbegrenzung, Straßenklassierung, Grünanteil, Knotenpunktregelung)
 k = Anzahl der Ausprägungen je Parameter
 $\text{Anteil}_{i,j}$ = Anteil der Ausprägung j am Gesamtfußwegenetz
 $w_{i,j}$ = Gewichtungsfaktor je Ausprägung j

Zur Bestimmung der Flächendegradation werden Grün- und Verkehrsflächen aus den Katasterkarten berechnet und auf die Quartiersbevölkerung referenziert. Für Indikatoren, die den Fokus der Bewertung auf das Mobilitätsangebot legen, werden erforderliche Inputdaten dem Mobilitätsportal der Stadt Karlsruhe (Stadt Karlsruhe) und den jeweiligen Anbietern entnommen (KVV, 2020a, KVV, 2020b; Stadtmobil Karlsruhe). Das Mobilitätsverhalten der Quartiersbewohner ergibt sich aus dem Modell der durchgeführten Wege des IfV. Darin modelliert ist der Modal Split sowie die Anzahl der Pkw-Fahrten pro Tag, die in die Berechnung der CO₂-Emissionen und der Feinstaub- und Stickoxidbelastung einfließen. Der Parkdruck berechnet sich aus dem zur Verfügung stehenden Parkplatzangebot und der Nachfrage. In die Berechnung der Parkplatznachfrage fließt die Motorisierungsrate und die Anzahl der Quartiersbewohner ein. In den Szenarien wirken sich Veränderungen im Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs auf den Modal Split, den Parkdruck sowie die CO₂-Emissionen, die durch die Anzahl der Pkw-Fahrten berechnet werden, aus.

$$\Delta \text{Modus Pkw bzw. Carsharing im Modal Split} := \sum_{s=1}^5 \Delta n_s * w_s$$

Δn_s = Änderung Nutzeranteil in Nutzungssegment s

w_s = Anteil der Nutzungstage des Segments s an Gesamtwoche (6-Tage-Woche)

Da die Mobilitätsteilnahme auch in den Szenarien gewährleistet bleibt, passt sich das Mobilitätsangebot dem veränderten Besitz- und Nutzungsverhalten an. Damit es beispielsweise zu keinen Teilhaberrestriktionen im Sharing-Segment kommt, wird das Carsharing-Angebot um den gleichen Prozentsatz entsprechend der Nachfragesteigerung ausgebaut. Die Flottenstruktur, die den Anteil an vollelektrifizierten und Hybridfahrzeugen im Fahrzeugbestand angibt, wird in den Szenarien durch strukturelle Anpassungen angepasst (Zielwert CO₂-Reduktion Neuwagen 2030: 59,38 g(CO₂) Guske (2019)). Somit lassen sich die verkehrsbedingten CO₂- und Stickoxidemissionen pro Quartiersbewohner für die Szenarien folgendermaßen berechnen:

$$e_{CO_2, \text{Quartier}} \left(\frac{g(CO_2)}{km} \right) = \frac{w_{konv.} * e_{CO_2}}{\text{Quartiersbevölkerung}}$$

$w_{konv.}$ = Wegezahlnzahl mit Pkw (von Quartiersbewohnern)

e_{CO_2} = Gesamtemissionen (pro km) im Fahrzeugbestand

$$e_{NOx} \left(\frac{g(NOx)}{km} \right) = w_{konv.} * \left(a_{Benzin} * \sum_{i=3}^6 (g_i * a_{i,Benzin}) + a_{Diesel} * \sum_{i=3}^6 (g_i * a_{i,Diesel}) \right)$$

w = Wegezahlnzahl mit Pkw (konventioneller Antrieb) im Quartier

a = Anteil je Kraftstoffart am Gestambestand

g = Schadstoffgrenzwert je Schadstoffklasse in $\frac{g(NOx)}{km}$

a_i = Fahrzeuganteil je Schadstoffklasse i ($\sum = 1$)

6 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden im Folgenden nach den Einflussausprägungen, die in den Szenarien auf die Indikatoren wirken, beschrieben. Dazu zählen zum einen Wirkungseffekte, die sich direkt aus den Storylines der Szenarien ergeben. Diese beschreiben strukturelle Einflüsse, infrastrukturseitige Anpassungen wie die Einfahrtsbeschränkung sowie den Ausbau des Mobilitätsangebots. Zum anderen verändern sich Performances aufgrund von Anpassungen im Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs. Anpassungen im Verkehrsaufkommen ergeben sich sowohl durch das veränderte Nutzungsverhalten als auch aus den infrastrukturseitigen Anpassungen in Szenario 1 und 2 (vgl. Kapitel 4.4). In Abbildung 6.1 ist zusammenfassend dargestellt, durch welche Einflussausprägungen sich Indikatorperformances in den Szenarien im Allgemeinen verändern und ob diese Veränderungen im Szenario positiv oder negativ auf den Indikator wirken.

Wie Abbildung 6.1 entnommen werden kann, wirken sich die Anpassungen im Mobilitätskonzept allesamt positiv auf die Nachhaltigkeitsperformances aus. Indikatoren, die negative Auswirkungen erfassen, erzielen für die Szenarien geringere Werte als im Ist-Zustand. Wie sich die Veränderungen im Detail in den einzelnen Indikatoren widerspiegeln, wird im Folgenden beispielhaft anhand der Indikatoren Angebotsqualität, Flächendegradation, Modal Split und CO₂-Emissionen, beschrieben.

	Strukturelle Änderung	Infrastrukturseitige Anpassung	Anpassungen im Mobilitätsangebot	Verändertes Besitz- und Nutzungsverhalten im MIV
Nachhaltiger Modal Split				↑
Parkdruck				↓
Fahrradfreundlichkeit		↑		
Angebotsqualität			↑	
Flottenfußabdruck	↓			
CO ₂ -Emissionen	↓			↓
Flächendegradation		↓		
Angebotsvielfalt				
Fußgängerfreundlichkeit		↑		
Verkehrslärm		↓		↓
Luftqualität	↑			↑
Verkehrssicherheit		↑		↑
Digitalisierung				
Elektrifizierung	↑			↑
Sharing-Angebot			↑	↑

Abbildung 6.1: Zusammenfassung der Ergebnisse: Veränderungen der Indikatorperformances durch Anpassungen im Mobilitätskonzept und deren Wirkungen.

Die Angebotsqualität beschreibt das ÖPNV-Angebot auf Basis der ÖPNV-Haltestellen innerhalb des Quartiers und an den Quartiersgrenzen. Insgesamt führt der Ausbau des Mobilitätsangebots zu einer Steigerung der Performance des Indikators Angebotsqualität. In den Storylines der Szenarien wurde festgelegt, dass sich die Angebotsqualität des Carsharings erhöht. Dadurch werden Carsharing-Station in unmittelbarer Nähe (<100m) von ÖPNV-Haltestellen errichtet, wenn dort noch keine Carsharing-Stationen vorhanden sind. Damit verbessert sich die Intermodalität im Mobilitätskonzept. Darüber hinaus werden in den Szenarien Fahrradabstellanlagen an den Haltestellen errichtet, die ebenfalls zu einer Verbesserung der Intermodalität beitragen. In Szenario 1 kommt es zu einer Erhöhung der Angebotsqualität, da zum einen das Carsharing-Angebot ausgebaut und zum anderen zusätzliche Fahrradabstellanlagen errichtet werden. Lediglich an der Tullastraße und am

Gottesauer-Platz sind bereits im Ist-Zustand Fahrradabstellanlagen und Carsharing-Stationen in unmittelbarer Nähe der Haltestellen vorhanden, sodass sich dort keine Änderungen in den Performances ergeben. In Szenario 2 erhöht sich für alle Stationen die Performance auch im Vergleich zu Szenario 1, da das Verkehrsangebot durch autonome Shuttles erweitert wird (vgl. Abbildung 6.2).

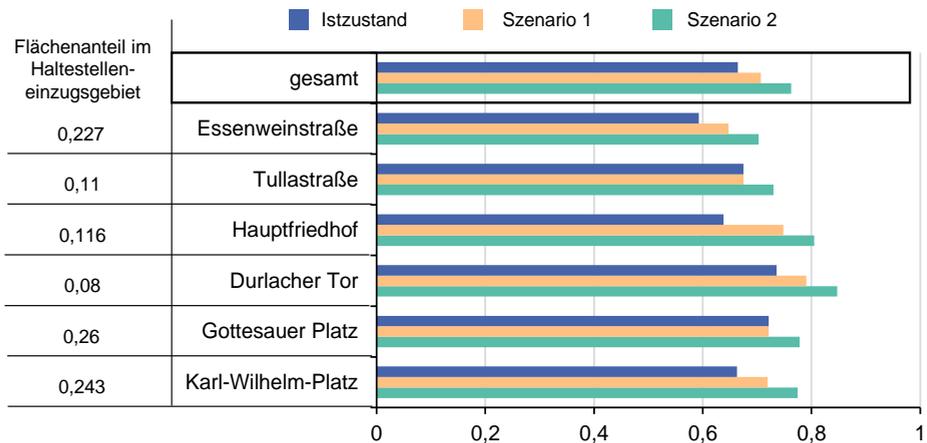


Abbildung 6.2: Ergebnisdarstellung ÖPNV-Angebotsqualität der Haltestellen im Quartier

Der Strukturwandel im Flottenbestand wirkt sich auf verkehrsbedingte CO₂-Emissionen und die Stickoxidbelastung innerhalb des Quartiers aus. Dieser Effekt wird durch die reduzierten CO₂-Emissionswerte in 2030 verstärkt. Werden beide Einflussfaktoren berücksichtigt, kommt es in Szenario 1 zu einer Reduktion um 35,2% und in Szenario 2 um 52,3%.

Des Weiteren erhöht sich der Bedarf an Ladestationen, wenn davon ausgegangen wird, dass der Anteil elektrifizierter Antriebstechnologien in den Szenarien weiter ansteigt. Durch die Parkraumverlagerung kommt es zudem zu einer städtebaulichen Aufwertung (vgl. Beitrag 1 in diesem Band). So werden durch die Parkraumverlagerung Verkehrsflächen frei, die nun umgestaltet werden können (vgl. Abbildung 6.3). Wie Abbildung 6.3 entnommen werden kann, ist der Grünflächenanteil mit 17,5% für ein Wohn- und Mischquartier bereits hoch. Das liegt unter anderem an den zahlreichen Grünflächen in den Innenhöfen des Quartiers. 3,1% der Grünflächen befinden sich jedoch auf dem Privatgelände der Höpfner-Brauerei und sind somit für die Allgemeinheit nicht zugänglich. Insgesamt existieren im Quartier keine größeren Parks, allerdings tragen mehrere Spiel- und

Sportplätze zur Auflockerung der bebauten Flächen bei. Die Fläche des Straßennetzes ändert sich nicht, da auch in den Szenarien der Quartierszugang gewährleistet bleibt.

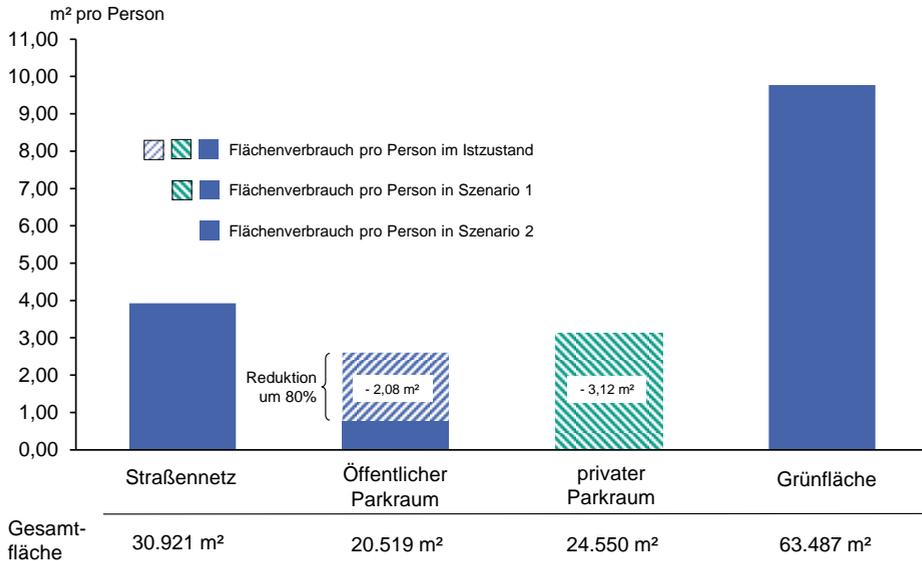


Abbildung 6.3: Ergebnisdarstellung Flächenbedarf pro Quartiersbewohner

Der Zeitverlust bei der Parkplatzsuche weist eine hohe Raumrelevanz auf, kann jedoch aufgrund fehlender Daten nicht betrachtet werden. Um die Parkplatzsituation dennoch erfassen zu können, wird der Indikator Parkdruck in das Bewertungsset aufgenommen. Dieser gibt an, wie es um die Parkplatzsituation im Quartier steht und wird zu Nachtzeiten gemessen, da davon ausgegangen werden kann, dass nachts alle Bewohner-Pkw im Quartier abgestellt sind. Es wird außerdem angenommen, dass im Ist-Zustand 100% aller privaten Stellplätze belegt sind. Daraus ergibt sich die Anzahl derjenigen Fahrzeuge, die auf öffentlichen Stellplätzen parken.

In den Szenarien verändert sich das Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs. Dieses spiegelt sich in den veränderten Nutzungshäufigkeiten der Modi PKW und Carsharing wider (vgl. Formel $\Delta Modus Pkw$ bzw. *Carsharing im Modal Split* (S. 20)). Dies hat Auswirkungen auf den Parkdruck im Quartier, da die Motorisierungsrate bei gleichbleibendem Parkplatzangebot zurückgeht. Zudem kommt es zu einer Verlagerung der privaten Pkw-Nutzungshäufigkeiten auf die Modi Carsharing (elektrifiziert) und Sonstige (vgl. Abbildung

6.5). Die Zunahme des Marktanteils für Sonstige² ergibt sich aus der Annahme des gleichbleibenden Mobilitätsumfanges. Da absolut mehr Pkw-Fahrten reduziert als durch Carsharing kompensiert werden und Verlagerungseffekte auf die sonstigen Modi ohne weitere Kenntnisse zum Mobilitätsverhalten nicht angegeben werden können, steigt der Anteil im Segment Sonstige. Anpassungen im Besitz- und Nutzungsverhalten sorgen außerdem dafür, dass die Anzahl der Carsharing-Fahrzeuge und damit die Performance des Sharing-Angebots zu nimmt. Aufgrund der reduzierten Pkw-Nutzung sinkt auch der Pro-Kopf CO₂-Ausstoß der Quartiersbewohner. Verstärkt wird dieser Wirkungseffekt durch bereits beschriebene strukturelle Änderungen im Flottenbestand (vgl. Abbildung 6.5).

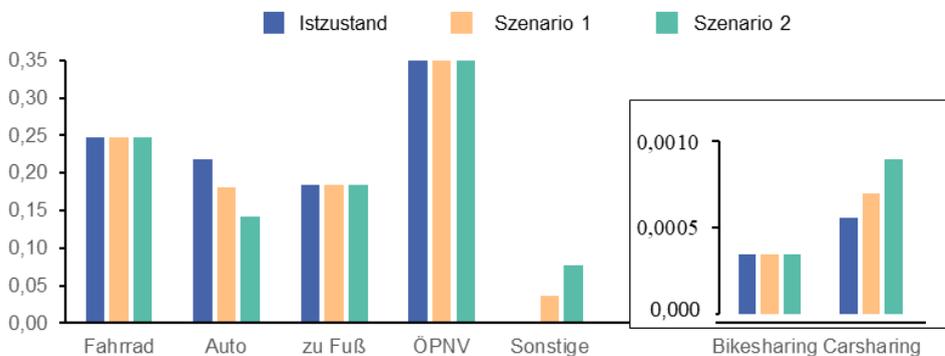


Abbildung 6.4: Ergebnisdarstellung Modal Split. Die Daten des Ist-Zustands basieren auf dem Modell der zurückgelegten Wege des IFV

Das Verkehrsaufkommen im Quartier reduziert sich unter anderem aufgrund von Anpassungen im Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs. Da insgesamt weniger Fahrzeuge gehalten werden und auch die Nutzungshäufigkeiten in den Szenarien zurückgehen, reduziert sich die Anzahl der Pkw-Fahrten insgesamt (vgl. Abbildung 6.4). Das Verkehrsaufkommen innerhalb des Quartiers wird zudem durch die Einfahrtsbeschränkung in Szenario 2 und indirekt durch das reduzierte Parkraumangebot gesenkt. So verändern sich diejenigen Parameter, die verkehrsbedingte Auswirkungen erfassen: die Luftqualität steigt und es reduzieren sich die Unfallgefahr und die Lärmbelastung. Die

² Die Kategorie Sonstige umfasst Änderungen in den Modi ÖPNV, zu Fuß, Fahrrad und gegebenenfalls neue Fortbewegungsmittel (z.B. Scooter). Diese Änderungen können nicht ermittelt werden, sodass diese im Segment „Sonstige“ zusammengefasst werden.

Lärmbelastung geht zudem als Bewertungsparameter in die Bewertung der Fußgänger- und Fahrradfreundlichkeit ein. Einen signifikanten Einfluss der Lärmbelastung auf Fußgänger- und Fahrradfreundlichkeit stellt sich allerdings erst in Szenario 2 durch die Einfahrtsbeschränkung ein. Werden für die Berechnungen der Stickoxidbelastung keine strukturellen Änderungen berücksichtigt, entspricht die Reduktion der Belastung den Änderungen im Verkehrsaufkommen (vgl. Abbildung 6.5).

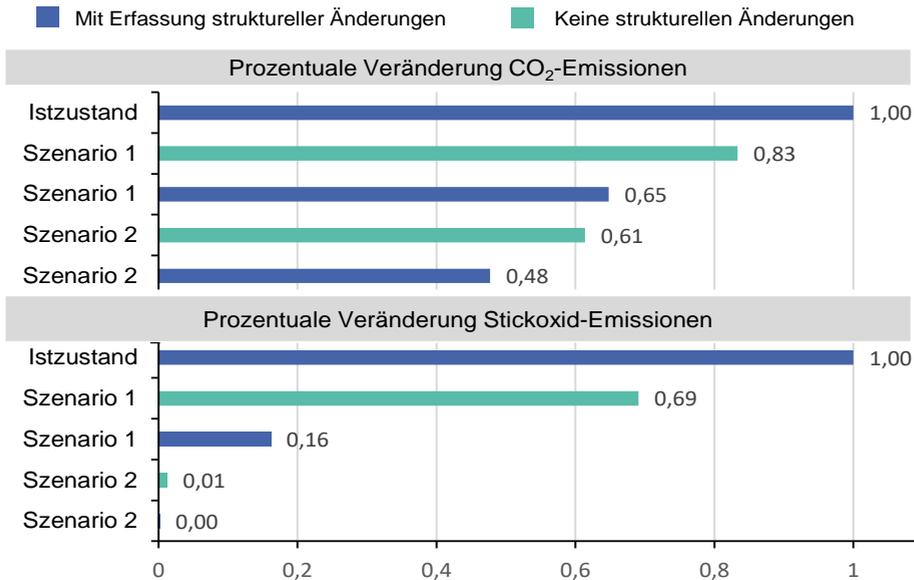


Abbildung 6.5: Ergebnisdarstellung der relativen Änderungen der CO₂- und Stickoxidemissionen pro Kilometer.

Oftmals wirken mehrere der Einflusswirkungen gemeinsam auf die Performances der Indikatoren, da sowohl strukturelle Veränderungen als auch verkehrsreduzierende Maßnahmen wirken. Wie in Abbildung 6.5 dargestellt, ergeben sich Anpassungen im Schadstoffausstoß aus strukturellen Änderungen, infrastrukturseitigen Anpassungen und durch Änderungen im MIV-Nutzungsverhalten im Quartier. Die Änderungen der Indikatorperformances sind somit nicht nur durch die Wirkung eines einzelnen Einflusses begründbar, sondern hängen vielmehr von den Wechselwirkungen verschiedener Einflüsse im Mobilitätssystem ab. Auch Anpassungen im Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs ergeben sich einerseits durch den Ausbau des Mobilitätsangebots. Andererseits wird das Mobilitätsangebot entsprechend der Nutzungsnachfrage angepasst. Damit keine Teilhabebarrieren entstehen, erhöht sich so die Anzahl der Carsharing-Fahrzeuge entsprechend der

Zunahme an Carsharing-Fahrten von Quartiersbewohnern (vgl. Tabelle 4.4). Die Wirkungseffekte der Maßnahmen führen somit zu einer Steigerung der Nachhaltigkeit im Mobilitätssystem, das sich durch die Änderungen der Ergebnisse der Indikatorperformances darlegen lässt.

7 Bewertung und Diskussion

Im Rahmen der Zielsetzung des SuMo-Rhine Projekts soll ein kostengünstiges und einfach nutzbares Bewertungsinstrument zur Verfügung gestellt werden, das Aussagen zur Nachhaltigkeit des kommunalen Mobilitätskonzepts ermöglicht (SuMo-Rhine). In dieser Arbeit wurde dieses Indikatorensystem auf das Gründerzeitviertel der Karlsruher Oststadt angepasst und angewendet. Um auch im Anwendungsfall die Aussagefähigkeit hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbewertung zu gewährleisten, wurden verschiedene Anforderungen definiert. So spiegeln sich alle relevanten Nachhaltigkeitsaspekte in den Bewertungsaspekten wider. Dabei wurde gewährleistet, dass sich die Nachhaltigkeitsaspekte an die von der Stadt Karlsruhe formulierten Ziele anlehnen. Außerdem wurden Referenzeinheiten und Bewertungsmethoden so gewählt, dass die Skalierbarkeit gewährleistet ist.

Das SuMo-Rhine Indikatorensystem beinhaltet insgesamt 25 Indikatoren. Im Anwendungsfall wurden nicht alle SuMo-Rhine Indikatoren angewendet. Ausschlusskriterium war entweder eine mangelhafte oder fehlende Datenbasis oder ein fehlender Raumbezug. So wurde bspw. die Aufenthaltsqualität auf Grund fehlender empirischer Daten nicht betrachtet, ebenso wie der Indikator Erreichbarkeit auf Grund der untergeordneten Relevanz für das Quartier. Das hier betrachtete Indikatorenset zählte somit im Anwendungsfall 15 Indikatoren.

Durch die Einbindung der Szenarien wurde gezeigt, dass die Bewertungsindikatoren sensitiv auf Veränderungen im Mobilitätssystem reagieren. So haben sich die Indikatoren sowohl in Szenario 1 als auch in Szenario 2 positiv entwickelt. Bereits in Szenario 1 sinkt bspw. die Nutzung von privaten PKW, während der Anteil von CarSharing steigt. Szenario 2 verstärkt diesen Trend noch. Dasselbe ist für den Indikator ÖPNV-Angebotsqualität und CO₂-Emissionen zu beobachten. Einzelne Performancewerte verbessern sich direkt aus den Annahmen, die in den Storylines der Szenarien getroffen werden, wie beispielsweise durch die Umgestaltung freiwerdender Parkflächen durch zusätzliche Grünflächen als Trenneinrichtung zwischen Fußweg und Straße oder die Einfahrtsbeschränkung in das Quartier in Szenario 2. Veränderungen einer Vielzahl der Indikatoren in den Szenarien sind jedoch auch auf Anpassungen im Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs

zurückzuführen, die sich indirekt aus den Storylines ergeben. Diese Verhaltensänderungen wurden in Kapitel 4.4 thematisiert. Im Rahmen der Einflussanalyse wurden Wechselwirkungen zwischen Einflussgrößen und Indikatoren herausgearbeitet. Es wurden außerdem Schlüsselfaktoren identifiziert, die in den Szenarien zu Veränderungen der Indikatorperformances führen. Da sich eine Vielzahl von Indikatoren durch endogene Anpassungen im Besitz- und Nutzungsverhalten verändern, ergibt sich folgende Problematik: Veränderungen im Besitz- und Nutzungsverhalten wurden argumentativ begründet, konnten jedoch nicht abschließend durch Simulationsmodelle oder Expertenworkshops validiert werden. Gerade weil sich jedoch aufgrund dieser Veränderungen eine Vielzahl der Indikatoren in den Szenarien anpassen, sollten Entwicklungen im Besitz- und Nutzungsverhalten weitestgehend validiert sein. Um die Gültigkeit derjenigen Bewertungsergebnisse, die sich aufgrund von Inputdaten des Besitz- und Nutzungsverhaltens verändern, zu steigern, kann aufbauend auf dieser Arbeit die Szenarioanalyse im Rahmen von Experten- und Stakeholder Workshops weiter diskutiert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Indikatorensystem des SuMo-Rhine Projekts ein sinnvolles Instrument für die Nachhaltigkeitsbewertung des Mobilitätssystems darstellt. So konnten durch infrastrukturseitige und städtebauliche Indikatoren aussagekräftige Bewertungsergebnisse in einem plausibel begründeten, abgeschlossenen System gewonnen werden. Außerdem konnten Anpassungen im Verkehrsaufkommen, die durch Änderungen im Mobilitätsverhalten hervorgerufen werden, präzise abgeschätzt werden. Um die Vergleichbarkeit zwischen Untersuchungsräumen gewährleisten zu können, sollten sich die gewählten Untersuchungsräume außerdem in ihren städtebaulichen Charakteristika ähneln. Besteht zwischen den Untersuchungsräumen jedoch eine große Heterogenität in ihren Charakteristika ist es sinnvoll, für die einzelnen Indikatoren untersuchungsraumspezifische Besonderheiten im Bewertungsprozess zu berücksichtigen. So können bezogen auf das Oststadtquartier beispielsweise die Gewichtungsfaktoren von städtebaulichen Parametern so angepasst werden, dass sie dem Verkehrsaufkommen und der Sicherheitslage im Quartier gerecht werden.

Kritisch reflektiert werden muss jedoch, ob ein kleinräumig abgeschlossenes System, wie es in dieser Arbeit definiert wurde, einem räumlich weiter gefassten System vorzuziehen ist. So bieten weiter gefasste Systemgrenzen, in die der Untersuchungsraum eingebunden ist, die Möglichkeit einer differenzierteren Bewertung. Damit können insbesondere Diffusions- und Nutzungsverhalten über die Raumgrenzen hinweg erfasst werden. Somit kann eine allumfassendere und differenziertere Nachhaltigkeitsbewertung erfolgen. Allerdings steigen dadurch Umfang und Komplexität der Nachhaltigkeitsbewertung. Damit wird die Möglichkeit erschwert, die Indikatoren als Entscheidungsfindungsinstrument im Dialog mit Entscheidungsträgern und betroffenen Akteuren einzusetzen. Abschließend kann

somit gesagt werden, dass sich durch die in den Szenarien gewählten Anpassungen als potentielle Wege zu einem nachhaltigeren Mobilitätssystem bestätigt haben. Es zeigt sich allerdings auch, dass sich das Mobilitätssystem als komplexes Konstrukt verschiedenster Einfluss- und Wechselwirkungen definieren lässt. Für dessen Abbildung sollte ein höheres Konkretisierungsniveau gewählt werden, um insbesondere die Validität von Anpassungen im Besitz- und Nutzungsverhalten des MIVs gewährleisten zu können.

Literatur

- Bandeira, J. M.; Coelho, M. C.; Sá, M. E.; Tavares, R. & Borrego, C. (2011). *Impact of land use on urban mobility patterns, emissions and air quality in a Portuguese medium-sized city*. *The Science of the total environment*, 409 (6), 1154–1163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.12.008>
- Banister, D. (2008). *The sustainable mobility paradigm*. *Transport Policy*, 15 (2), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>
- BMU (2016). *Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung* (2. Aufl.) (BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Hrsg.).
- Boltze, M.; Specht, G.; Friedrich, D. & Figur, A. (2002). *Grundlagen für die Beeinflussung des individuellen Verkehrsmittelwahlverhaltens durch Direktmarketing*. Darmstadt: TU Darmstadt.
- Coppola, P. & Silvestri, F. (2019). *Future mobility and land use scenarios*. Impact assessment with an urban case study. *Transportation Research Procedia*, 42, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.12.006>
- Csonka, B. & Csiszár, C. (2016). *Service Quality Analysis and Assessment Method for European Carsharing Systems*. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 44 (2), 80–88. <https://doi.org/10.3311/PPtr.8559>
- Deloitte. *Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035. Welche Veränderungen durch Robotaxis auf Automobilhersteller, Städte und Politik zurollen*. Zugriff am 22.10.2020. Verfügbar unter <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/datenland-deutschland-autonomes-fahren.pdf>
- Dobesova, Z. & Krivk, T. (2012). *Walkability Index in the Urban Planning*. A Case Study in Olomouc City. In J. Burian (Hrsg.), *Advances in Spatial Planning*. InTech. <https://doi.org/10.5772/36587>
- Doll, C.; Krauß, K. & Luchmann, I. Niemeier, E. (Fraunhofer ISI, PTV Group & M-Five, Hrsg.) (2019). *Verlagerungswirkungen und Umwelteffekte veränderter Mobilitätskonzepte im*

- Personenverkehr*. Zugriff am 22.10.2020. Verfügbar unter <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2020/Verlagerungswirkungen%20und%20Umwelteffekte%20Mobilitaetskonzepte.pdf>
- Europäische Kommission. (2017). *European urban mobility. Policy context*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Gillis, D.; Semanjski, I. & Lauwers, D. (2016). *How to Monitor Sustainable Mobility in Cities? Literature Review in the Frame of Creating a Set of Sustainable Mobility Indicators*. Sustainability, 8 (1), 29. <https://doi.org/10.3390/su8010029>
- Gołda, I. J.; Gołębiowski, P.; Izdebski, M.; Kłodawski, M.; Jachimowski, R. & Szczepański, E. (2017). *The evaluation of the sustainable transport system development with the scenario analyses procedure*. Journal of Vibroengineering, 19 (7), 5627–5638. <https://doi.org/10.21595/jve.2017.19275>
- Gossen, M. (2012). *Nutzen statt Besitzen. Motive und Potenziale der internetgestützten gemeinsamen Nutzung am Beispiel des Peer-to-Peer Car-Sharing* (Schriftenreihe des IÖW, Bd. 202, neue Ausg). Zugl.: Berlin, Hochschule für Wirtschaft und Recht, Masterarb. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung.
- Europäische Kommission. (2019). *EU-Mitgliedsstaaten beschließen neue CO²-Grenzwerte für Autos*. Zugriff am 11.11.2020. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/germany/news/20190415-co2-grenzwerte_de
- Jocher, T. & Loch, S. (2012). *Raumpilot Grundlagen*. Stuttgart: Kraemerverlag; Wüstenrot Stiftung.
- Joumard, R. (2010). *Indicators of environmental sustainability in transport. An interdisciplinary approach to methods* (Recherches).
- KBA (2010). *Fahrzeugzulassungen [FZ 8] - Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern - Monatsergebnis Juni* (Kraftfahrtbundesamt, Hrsg.).
- KBA (2012). *Fahrzeugzulassungen [FZ 8] -Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern - Monatsergebnis Juni* (Kraftfahrtbundesamt, Hrsg.).
- KBA (2014). *Fahrzeugzulassungen [FZ 8] -Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern - Monatsergebnis Juni* (Kraftfahrtbundesamt, Hrsg.).
- KBA (2016). *Fahrzeugzulassungen [FZ 8] -Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern - Monatsergebnis Juni* (Kraftfahrtbundesamt, Hrsg.).
- KBA (2018). *Fahrzeugzulassungen [FZ 8] -Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern - Monatsergebnis Juni* (Kraftfahrtbundesamt, Hrsg.).
- KBA (2020). *Fahrzeugzulassungen [FZ 8] -Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern - Monatsergebnis Juni* (Kraftfahrtbundesamt, Hrsg.).
- Kosow, H.; Gaßner, R.; Erdmann, L. & Lubert, B.-J. (2008). *Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse. Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien* (Werkstattbericht / IZT,

- Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Bd. 103). Berlin: IZT. Verfügbar unter http://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT_WB103.pdf
- Kuhnert, F. & Stürmer, C. (2016). *Mit Elektrifizierung und Verbrennungsmotoren auf dem Weg in die Zukunft der Mobilität* (PricewaterhouseCoopers, Hrsg.). PricewaterhouseCoopers. Zugriff am 24.10.2020. Verfügbar unter <https://www.pwc.at/de/publikationen/branchen-und-wirtschaftsstudien/autofacts-2016.pdf>
- KVV (Karlsruher Verkehrsverbund, Hrsg.) (2020a). *Haltestellenverzeichnis*. Zugriff am 24.11.2020. Verfügbar unter https://www.kvv.de/fileadmin/user_upload/kvv/Daten/Fahrplaene_Netzplaene/Haltestellenverzeichnis_2020.pdf
- KVV (2020b). *Vernetzte Mobilität*. Zugriff am 20.12.2020. Verfügbar unter <https://www.kvv.de/unternehmen/kvv-news/detail/suchen-buchen-und-bezahlen-neue-kvv-app-regiomove-ist-ab-jetzt-verfuegbar-1.html>
- Malley, J. (2000). *Nachhaltige Mobilität im Spannungsfeld ökonomischer, ökologischer und sozialer Anforderungen. Veranstaltung der Friedrich-Ebert-Stiftung am 12. Oktober 1999 in Berlin* (Reihe "Wirtschaftspolitische Diskurse, Bd. 133). Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung; Wirtschafts- und Sozialpolitisches Forschungs- und Beratungszentrum der Friedrich-Ebert-Stiftung Abt. Wirtschaftspolitik. Verfügbar unter <http://library.fes.de/cgi-bin/gbv.cgi?id=956>
- Musso, A. & Corazza, M. (2006). *Improving Urban Mobility Management*. Case Study of Rome. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1956, 52–59. <https://doi.org/10.3141/1956-07>
- Nehrke, G. & Loose, W. (Bundesverband Carsharing e.V., Hrsg.) (2018). *Nutzer und Mobilitätsverhalten in verschiedenen Carsharing-Varianten*. Zugriff am 22.10.2020. Verfügbar unter https://www.carsharing.de/sites/default/files/uploads/stars_wp4_t41_projektbericht_bcs_deutsch_final_1.pdf
- Okraszewska, R.; Romanowska, A.; Wołek, M.; Oskarbowski, J.; Birr, K. & Jamroz, K. (2018). *Integration of a Multilevel Transport System Model into Sustainable Urban Mobility Planning*. Sustainability, 10 (2), 479. <https://doi.org/10.3390/su10020479>
- Rat für Nachhaltige Entwicklung (Hrsg.). (2015). *Städte auf Kurs Nachhaltigkeit. Wie wir Wohnen, Mobilität und kommunale Finanzen zukunftsfähig gestalten* (Texte / Rat für Nachhaltige Entwicklung, Bd. 50). Deutschland.
- Redza, E. & Bouillard, P. (2017). *City Centre Regeneration by Removing Motorways. Impacts on Mobility and urban Life* (WII Transaction on the built Environment, Hrsg.). <https://doi.org/10.2495/UT170011>
- Rodrigues da Silva, A. N.; Azevedo Filho, M. A. N. d.; Macêdo, M. H.; Sorratini, J. A.; da Silva, A. F.; Lima, J. P. & Pinheiro, A. M. G. S. (2015). *A comparative evaluation of mobility conditions in selected cities of the five Brazilian regions*. Transport Policy, 37, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.10.017>

- Rodrigues da Silva, A. N.; Costa, M. & Ramos, R. (2010). *Development and application of I_SUM*. An index of sustainable urban mobility.
- Stadt Karlsruhe (Hrsg.). *Mobilitätsportal der TechnologieRegion Karlsruhe*. Verfügbar unter <https://vmz.karlsruhe.de/portal.html?city=LKKarlsruhe&lang=de&theme=environmentalzone&lat=48.99175226853188&lng=8.4580346925&zoom=12>
- Stadt Karlsruhe (Hrsg.) (2018). *Verkehrsmittelwahl und Mobilitätsverhalten. Ergebnisse der repräsentativen Verkehrsbefragung 2018*.
- Stadt Karlsruhe (2019). *Statistisches Jahrbuch 2019* (Amt für Stadtentwicklung Karlsruhe, Hrsg.).
- Stadt Karlsruhe (Hrsg.) (2020a). *Ziele und Strategien - Mobilität*. Zugriff am 14.09.2020. Verfügbar unter <https://www.karlsruhe.de/iq/mobilitaet/ziele.de>
- Stadt Karlsruhe (Hrsg.) (2020b, 13. November). *Geoportal Karlsruhe. Geoshop*. Verfügbar unter <https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/geodaten.de>
- Stadtmobil Karlsruhe (Hrsg.). *stadtmobil-Stationen in Ihrer Nähe*. Zugriff am 16.11.2020. Verfügbar unter <https://karlsruhe.stadtmobil.de/privatkunden/stationen/>
- Stadtplanungsamt Karlsruhe (Hrsg.) (2013). *Verkehrsentwicklungsplan Karlsruhe. Szenarien und integriertes Handlungskonzept*. Zugriff am 14.09.2020. Verfügbar unter https://www.karlsruhe.de/b3/verkehr/verkehrsentwicklung/HF_sections/content/ZZoHilNUNZzbzD/VEP_Teil_2_web.pdf
- SuMo-Rhine (Hrsg.). Vorstellung Indikatorensystem (unveröffentlicht) [Themenheft].
- Tran, M.-C.; Manz, C. & Nouri, F. (2017). *Messung und Erfassung der Fußgängerfreundlichkeit von Stadträumen*. Universität Duisburg. Verfügbar unter https://www.unidue.de/imperia/md/content/imobis/messung_und_erfassung_der_fu%C3%9Fg%C3%A4ngerfreundlichkeit_in_essen_2017_xs.pdf
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2011). *Leitkonzept - Stadt und Region der kurzen Wege. Gutachten im Kontext der Biodiversität* (48. Aufl.).
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015). *Entwicklung von Indikatoren im Bereich Mobilität für die nationale Nachhaltigkeitsstrategie*.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2017). *Die Stadt für morgen*.
- Van Grol, R.; de Bok, M.; de Jong, G.; van Eck, G.; Ihrig, J.; Kraft, M.; Szimba, E.; Mandel, B.; Ivanova, O.; Boonman, H.; Chahim, M.; Corthout, R.; Porwanto, J.; Smith, R.; Laparidou, K.; Helder, E.; Grebe, S. & Székely, A. (2016). *Elasticities and Equations of the High-Tool Model (Final Version)*. High-Tool Deliverable D4.3 Project cofunded by the European Commission under the 7th Framework Programme, Karlsruhe.
- Vidović, K.; Šoštarić, M. & Budimir, D. (2019). *An Overview of Indicators and Indices Used for Urban Mobility Assessment*. PROMET - Traffic&Transportation, 31 (6), 703–714. <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i6.3281>

-
- WBCSD (2015). *Methodology and Indicator calculation method for sustainable urban mobility. Sustainable Mobility Project 2.0* (World Business Council for Sustainable Development, Hrsg.).
- Winters, M.; Brauer, M.; Setton, E. M. & Teschke, K. (2013). *Mapping bikeability*. A spatial tool to support sustainable travel. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40 (5), 865–883. <https://doi.org/10.1068/b38185>
- Zeit Online (2018, 19. April). *Jungen Städtern sind Autos nicht mehr wichtig*. *Zeit*. Zugriff am 28.12.2020. Verfügbar unter <https://www.zeit.de/mobilitaet/2018-04/autofahren-bedeutung-junge-menschen-stadt-land-studie>
- Zito, P. & Salvo, G. (2011). *Toward an urban transport sustainability index*. An European comparison. *European Transport Research Review*, 3 (4), 179–195. <https://doi.org/10.1007/s12544-011-0059-0>