

Sieber, Niklas; Krail, Michael; Hölzemann, Charlotte

Working Paper

Klimawirkungen von Maßnahmen im Verkehr: Eine Literaturstudie zu Benutzervorteilen, Parkraummanagement und Maßnahmen zum massiven ÖPNV-Ausbau

Working Paper Sustainability and Innovation, No. S04/2024

Provided in Cooperation with:

Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI

Suggested Citation: Sieber, Niklas; Krail, Michael; Hölzemann, Charlotte (2024) :
Klimawirkungen von Maßnahmen im Verkehr: Eine Literaturstudie zu Benutzervorteilen,
Parkraummanagement und Maßnahmen zum massiven ÖPNV-Ausbau, Working
Paper Sustainability and Innovation, No. S04/2024, Fraunhofer-Institut für System- und
Innovationsforschung ISI, Karlsruhe,
<https://doi.org/10.24406/publica-2937>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/290394>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



Klimawirkungen von Maßnahmen im Verkehr

**Eine Literaturstudie zu Benutzervorteilen, Parkraummanagement
und Maßnahmen zum massiven ÖPNV-Ausbau**

Autorinnen und Autoren:

Niklas Sieber, Michael Krail, Charlotte Hölzemann

Impressum

Klimawirkungen von Maßnahmen im Verkehr

Autorinnen und Autoren

Niklas Sieber, niklas.sieber@isi.fraunhofer.de
Michael Krail, michael.krail@isi.fraunhofer.de
Charlotte Hölzemann, charlotte.hoelzemann@outlook.de

Gefördert vom

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Dorotheenstraße 8, 70173 Stuttgart

Bildnachweis

Deckblatt: Shutterstock.com/TechSolution

Zitierempfehlung

Sieber, Niklas; Krail, Michael; Hölzemann, Charlotte (2024): Klimawirkungen von Maßnahmen im Verkehr. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Veröffentlicht

12. April 2024

Kontakt

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Niklas Sieber, niklas.sieber@isi.fraunhofer.de

Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.

Digitaler Identifikator

doi: 10.24406/publica-2937

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Methoden und Indikatoren zur Messung von Klimawirkungen	10
2.1	Methodik der Wirkungsberechnung	10
2.2	Datengrundlagen	16
2.3	Verkehrsmodelle und Emissionsberechnungen	22
2.4	Preiselastizitäten der Nachfrage.....	27
2.5	Räumliche Differenzierung	31
3	Benutzervorteile für die Elektromobilität	34
3.1	Gesetzliche Grundlagen für die Benutzervorteile	34
3.2	Methoden und Indikatoren zur Messung der Wirkungen.....	36
3.3	Modellmäßige Berechnungen der Wirkungen	38
3.4	Empirische Erkenntnisse aus Verkehrsprojekten.....	38
3.5	Differenzierung der Klimawirkungen.....	47
4	Parkraummanagement.....	48
4.1	Formen des Parkraummanagements und gesetzliche Regelungen.....	48
4.2	Methoden und Indikatoren zur Messung der Wirkungen.....	56
4.3	Modellmäßige Berechnungen der Wirkungen	58
4.4	Empirische Erkenntnisse aus Verkehrsprojekten.....	61
4.5	Räumliche Differenzierung der Klimawirkungen	73
4.6	Zusammenfassung Parkraummanagement.....	74
5	Mobilitätspass als Maßnahme zum massiven ÖPNV-Ausbau	76
5.1	Methoden und Indikatoren zur Messung der Wirkungen.....	77
5.2	Modellmäßige Berechnungen der Wirkungen	81
5.3	Empirische Erkenntnisse aus Verkehrsprojekten.....	86
5.4	Differenzierung der Klimawirkungen.....	100
6	Weitere Maßnahmen mit hoher Wirkung	106
7	Zusammenfassung der Ergebnisse	107
	Referenzen und weiterführende Literatur	111
	Anhänge	131

Abkürzungsverzeichnis

ASIF	Methode zur Berechnung von Treibhausgasemissionen
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug (engl. Battery electric vehicle)
BQZ	Binnen- Quell- und Zielverkehr
BW	Baden-Württemberg
CNG	Erdgas (engl. Compressed Natural Gas)
CO ₂ e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
EV	Elektrofahrzeug (engl. electric vehicle)
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeug (engl. Fuel Cell Electric Vehicle)
Fzg-km	Fahrzeug-Kilometer
FZW	Fahrzeug-Zulassungsverordnung
GebOSt	Gebührenordnung für Maßnahmen im Straßenverkehr
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr
HOV	High-occupancy vehicle (engl. Fahrzeug mit hoher Auslastung)
ICEV	Fahrzeug mit Verbrennermotor (engl. Internal combustion engine vehicle)
k.A.	Keine Angaben
Kfz	Kraftfahrzeug
LPG	Autogas (engl. Liquefied Petroleum Gas)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NMV	Nichtmotorisierter Verkehr
NVBW	Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg
OEM	Erstausrüster (engl. Original Equipment Manufacturer)
ÖPNV	Öffentlicher Personen Nahverkehr
ÖSPV	Öffentlicher Straßenpersonenverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
P + R, P&R	Park-and-Ride
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
Pkm	Personen-Kilometer
Pkw	Personenkraftwagen
PRM	Parkraummanagement
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
StrG	Straßengesetz
StVG	Straßenverkehrsgesetz
StVO	Straßenverkehrsordnung
SUV	Stadtgeländewagen (engl. Sport Utility Vehicle)
THG	Treibhausgase
VM	Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

WLTP	Weltweit einheitliches Leichtfahrzeuge-Testverfahren (engl. Worldwide Harmonised Light-Vehicle Test Procedure)
ZEV	Emissionsfreies Fahrzeug (engl. Zero Emission Vehicle)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Differenz-von-Differenzen Methode.....	11
Abbildung 2: Bilanzierungsrahmen für CO ₂ Emissionen in Städten.....	12
Abbildung 3: Bilanzierung von CO ₂ Emissionen	13
Abbildung 4: Räumliche Bilanzierungsmethoden.....	14
Abbildung 5: Methodik der CO ₂ Emissionsberechnung im Verkehr.....	15
Abbildung 6: Nutzung von Mobilfunkzellen und GPS-Daten bei Verkehrserhebungen.....	20
Abbildung 7: Überblick über Module und Modelle von ASTRA-M.....	23
Abbildung 8: Prinzipienskizze der Ermittlung von EEV und THG im Verkehr (ASIF-Konzept).....	24
Abbildung 9: Spezifische THG-Emissionen im Personennahverkehr.....	26
Abbildung 10: Elastizitäten im Pkw Besitz und Verkehr.....	29
Abbildung 11: Raumtypen in Baden-Württemberg gemäß BBSR	31
Abbildung 12: Verkehrsleistung nach Raumtyp in BW	32
Abbildung 13: Fahrleistungen mit Pkw nach Raumtyp in BW.....	33
Abbildung 14: Schwierigkeiten der Umsetzung des EmoG in den Kommunen.....	36
Abbildung 15: Anteil von BEV (linke Karte) und PHEV (rechte Karte) an den gesamten Pkw Neuzulassungen in den Kommunen im Jahr 2021	37
Abbildung 16: Abschätzung des Anteils der Bevorrechtigten im EmoG am Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland.....	38
Abbildung 17: Gründe für den Wunsch, beim nächsten Fahrzeugkauf in Schweden, Dänemark und Norwegen ein Elektroauto zu kaufen.....	40
Abbildung 18: Beitrag einzelner Anreize zur Entwicklung der Zahl der BEV in Norwegen.....	41
Abbildung 19: Zufahrtsbeschränkungen im nördlichen Europa.....	43
Abbildung 20: Emissionszonen in London, Paris und dessen Umland	44
Abbildung 21: Ausgestaltungsformen des Parkraummanagements.....	49
Abbildung 22 Auswirkung von Parkraummanagementmaßnahmen auf die Autonutzung in BW	59
Abbildung 24: Parkraumauslastung in Wien nach Bezirken.....	63
Abbildung 25: Verlagerung auf Öffentliche Verkehrsmittel.....	64
Abbildung 26: Durchschnittliche Gebührenhöhe für Bewohnerparken im Jahr 2022 in Städten in BW mit Gebühren über 30,70 €	65
Abbildung 27: Zonen für Bewohnerparken in Freiburg	66
Abbildung 28: Umnutzung von Stellplätzen in Oslo.....	70
Abbildung 29: Push und Pull Strategie in der Verkehrsplanung.....	77

Abbildung 30: Gebührenzone für London Congestion Charge im Jahr 2022.....	88
Abbildung 31: Mautsystem in Stockholm	90
Abbildung 32: Electronic Road Pricing Singapur mit aktueller Stauinformation	91
Abbildung 33: Hierarchie der Pull Maßnahmen im ÖV.....	95
Abbildung 34: Zahlungsbereitschaft für das 9-Euro-Ticket.....	97
Abbildung 35: Modal Split in Tallinn 2012 und 2013 (außen).....	99
Abbildung 36: Pkw-Verfügbarkeit in BW 2017 nach Raumtypen und Zentralität.....	102
Abbildung 37: Belastung einer CO ₂ Steuer in Höhe von 60€/Tonne in BW nach ökonomischem Status	102
Abbildung 38: Haltestellen- und Abfahrtendichte nach Stadt- und Gemeindetyp (Werktag).....	103
Abbildung 39: ÖV-Erschließungsqualität in BW	104
Abbildung 40: Haltestellendichte in BW	105
Abbildung 41: Wirkungen unterschiedlicher preislicher Maßnahmen auf die MIV- Fahrleistung	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kfz-Statistiken für Pkw und Motorräder in Baden-Württemberg	17
Tabelle 2: Software zum Berechnen der CO ₂ Emissionen des Verkehrs.....	27
Tabelle 3: Anteile an Kommunen, welche die Bestandteile des EmoG jeweils bereits umgesetzt haben.....	35
Tabelle 5: Kommunale Anreize für die Elektromobilität im Europäischen Ausland.....	39
Tabelle 6: Berechnung der Wirkung von Anreizen auf die Kaufentscheidungen von BEV in Norwegen.....	40
Tabelle 7: Relevanz verschiedener Parkraummanagementmaßnahmen auf ausgewählte Zielgruppen	55
Tabelle 8: Indikatoren zur Analyse der Klimawirkungen des PRM	58
Tabelle 9: Übersicht verschiedener Maßnahmen und ihren Auswirkungen.....	62
Tabelle 10: Elastizitäten von Parkraummaßnahmen.....	68
Tabelle 11: Varianten des Mobilitätspasses.....	78
Tabelle 12: Übersicht über Pull-Maßnahmen.....	81
Tabelle 13: Mögliche Pull Wirkungen des Mobilitätspasses	81
Tabelle 14: Wirkungen preislicher Veränderungen im Klimaschutzszenario 2030 BW	83
Tabelle 15: Berechnungen der Einnahmen verschiedener Mobilitätspass Varianten.....	84
Tabelle 16: Freie Mittel für Mobilitätsmaßnahmen durch einen Mobilitätspass mit voller Rückvergütung der Gebühr.....	85
Tabelle 17: Mögliche Verwendungen der Einnahmen eines Mobilitätspasses.....	86
Tabelle 18: Vorschlag für ein Mautsystem in Berlin	86
Tabelle 19: Auswahl von Mautsystemen in Europa	87
Tabelle 20: Elastizitäten von Maut Projekten	92
Tabelle 21: Untersuchungen zu den Wirkungen des 9-Euro Ticket.....	97
Tabelle 22: Effektivität von ausgewählten Maßnahmen zur Reduktion der Autonutzung.....	106

1 Einleitung

Baden-Württemberg verfolgt das Ziel, seine verkehrsbedingten CO₂-Emissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 zu senken. Zur Erreichung dieses Ziels sind eine Vielzahl von verkehrlichen Maßnahmen denkbar, unter denen vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM) drei identifiziert wurden, für die ein besonderer Forschungsbedarf besteht und die in dieser Studie besondere Beachtung finden sollen.

- Benutzervorteile für die Elektromobilität
- Parkraummanagement
- Mobilitätspass als Maßnahme zum massiven ÖPNV-Ausbau

Dieses Papier stellt die Ergebnisse des Arbeitspaketes 1 des Forschungsprojektes dar, dessen Ziel es ist, die vorhandenen Erkenntnisse zu den Wirkungen von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr zusammenzutragen und zu bewerten. Dabei geht es vor allem um die folgenden Forschungsfragen:

- Methoden und Indikatoren zur Wirkungsabschätzung unterschiedlicher Maßnahmen
- Quantifizierung der Klimawirkungen einzelner verkehrlicher Maßnahmen
- Differenzierung der Klimawirkungen durch unterschiedliche Rahmenbedingungen wie z. B. Raumtyp, Stadtgröße, Siedlungsstruktur, Straßentyp oder Preiselastizität der Nachfrage.

Die Literaturstudie basiert auf einer intensiven Recherche von nationalen und internationalen Veröffentlichungen, grauer Literatur und Projektdokumenten zu dem Thema. Bei der Studie wurden über 300 relevante Quellen gefunden und ausgewertet.

Dieser Text gliedert sich in sieben Kapitel, wobei im nächsten Kapitel ein kursorischer Überblick über die relevanten Methoden und Indikatoren gegeben wird. Besonderes Gewicht wird dabei auf Methodik der Wirkungsberechnung, die Datengrundlage und die Preiselastizitäten gelegt. Das Kapitel gibt aber auch einen kurzen Überblick über die räumliche Differenzierung in Baden-Württemberg. Die Kapitel 3 bis 5 behandeln die o. g. Schwerpunkte Benutzervorteile für die Elektromobilität, Parkraummanagement und Maßnahmen zum massivem ÖPNV-Ausbau. Im sechsten Kapitel werden weitere Maßnahmen mit hoher Klimawirkung behandelt.

2 Methoden und Indikatoren zur Messung von Klimawirkungen

Dieses Kapitel hat die Aufgabe, einen Überblick über Methoden und Indikatoren zur Messung der Klimawirkungen von verkehrlichen Maßnahmen zu liefern. Dazu zählen die Methodik der Wirkungsberechnung für ex-ante und ex-post Untersuchungen, die Differenz-von-Differenzen Methode und der Bilanzierungsrahmen. Des Weiteren werden die Datengrundlagen, relevante Verkehrsmodelle, Emissionsrechnungen und die Preiselastizitäten der Nachfrage behandelt. Rebound Effekte und die räumliche Differenzierung stehen am Ende des Kapitels.

2.1 Methodik der Wirkungsberechnung

2.1.1 Ex-ante und ex-post Analysen

Bei der quantitativen Bewertung verkehrlicher Maßnahmen kann grundsätzlich unterschieden werden zwischen einer Wirkungsabschätzung vor der Implementierung, genannt ex-ante Bewertung und einer ex-post Analyse mit einer Vorher-Nachher Untersuchung. Für die ex-ante Bewertung ist in der Regel ein Prognosemodell notwendig, das aus der Entwicklung der Vergangenheit unter Berücksichtigung der veränderten Rahmenbedingungen eine Vorhersage für die Zukunft erstellt. Die Vergangenheit kann dabei durch unterschiedliche statistische Verfahren wie bspw. Regressionsverfahren ermittelt werden. Die Zukunft wird dabei häufig in Szenarien dargestellt, die sich durch unterschiedliche Annahmen bei den Rahmenbedingungen, sowie verschieden starken Ausprägungen der relevanten Merkmale ergeben. Das Eintreten der Prognose kann auch durch eine Wahrscheinlichkeit beschrieben werden. Es gibt eine Vielzahl von Prognosemethoden, wie z.B. Extrapolation, Trendprognose, ökonometrische Modelle und auch qualitative Verfahren wie die Delphi-Methode, die auf Befragungen von Experten beruhen. Besonders relevant für diese Studie sind Verkehrsmodelle, die im Abschnitt 2.3.1 näher beschrieben werden.

Für ex-post Bewertungen ist nicht unbedingt ein Modell erforderlich, denn oft sind einfache statistische Methoden ausreichend, um die Wirkungen vor und nach der Implementierung einer Maßnahme zu evaluieren. Veränderungen können auch durch Summen, Mittelwerte oder Mediane beschrieben werden, deren Differenzen vor und nach Umsetzung der Maßnahme anhand von parametrischen Tests (z.B. t-Test, Varianzanalyse) auf ihre Güte untersucht werden. Liegen größere Datenmengen oder Zeitreihen vor, können Regressionsanalysen hilfreich sein, die die Zeitpunkte der Umsetzung berücksichtigen. Ein Verkehrsmodell ist für ex-post Analysen dann geeignet, wenn es für ein Basisjahr vor der Implementierung der Maßnahme kalibriert wurde. Dies stellt eine zusätzliche Option für ein ex-post Monitoring der Wirkungen von Klimaschutzmaßnahmen dar, falls diese nicht anhand von tatsächlich beobachteten Werten abschätzbar sind. Die Wirkungen werden durch einen Vergleich der Eckwerte des Modells für verschiedene Jahre berechnet. Mögliche Methoden zur Entwicklung derartiger Verkehrsmodelle sind systemdynamische und agentenbasierte Modelle. Erstere beschreiben über Stocks und Flows (Bestand und Fluss) komplexe Zusammenhänge dynamischer Systeme. Letztere fokussieren auf einzelne Entscheidungsträger und deren Auswirkungen auf das System.

2.1.2 Differenz-von-Differenzen Methode

Der Differenz-von-Differenzen-Ansatz, ist ein in der Ökonometrie gebräuchlicher Ansatz, um einen kausalen Effekt festzustellen und dessen Stärke zu beschreiben. Durch diese Methode wird die Wirkung einer Maßnahme isoliert von den Veränderungen, die im Zeitverlauf auch ohne die Maßnahme

stattgefunden haben. Das zugrundeliegende Forschungsdesign arbeitet deshalb mit einer Behandlungs- und einer Kontrollgruppe. Für beide Gruppen müssen Daten derselben Untersuchungseinheiten über mindestens zwei Zeitpunkte vorliegen. Abbildung 1 stellt schematisch diese Methodik dar.

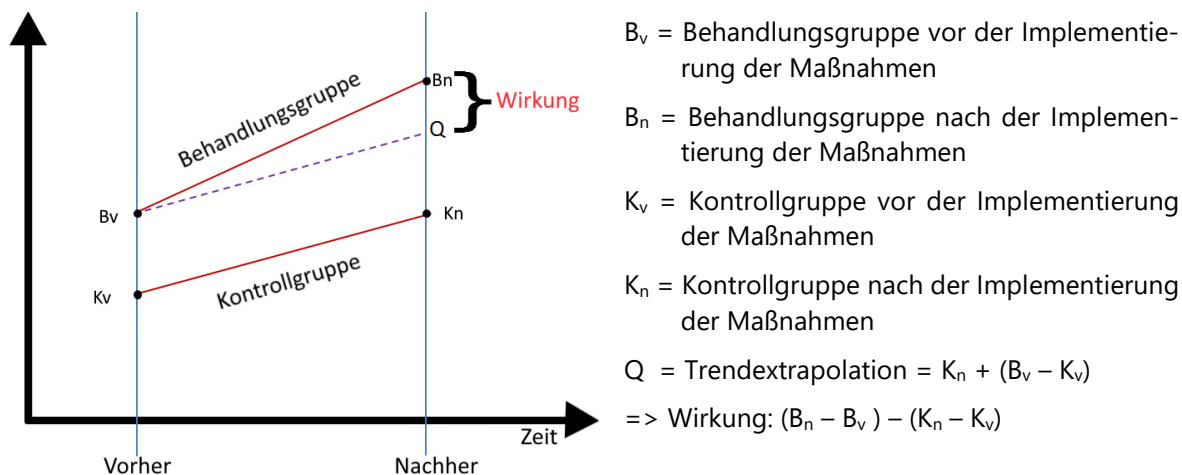


Abbildung 1: Differenz-von-Differenzen Methode

Beispiel: Autofreie Innenstadt

Untersucht wird die Wirkung der Maßnahme in einer Stadt anhand von Verkehrszählungen vor und nach der Implementierung. Die gemessenen Wirkungen müssen um den Trend bereinigt werden, der auch in Städten ohne Maßnahme auftritt. Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse mit einer Kontrollgruppe, in der keine Maßnahmen implementiert wurden, verglichen. Diese „Differenzen von Differenzen“ Methode berechnet sich wie folgt:

$$W = (E(M)_{z2} - (E(M)_{z1}) - (E(K)_{z2} - E(K)_{z1}), \text{ mit}$$

W = Wirkung auf das Klima

E = Emission von CO_2

M = Maßnahme wurde implementiert

K = Kontrollgruppe ohne Maßnahme

$z1$ = Zeitpunkt vor Implementierung der Maßnahme

$z2$ = Zeitpunkt nach Implementierung der Maßnahme

Da die geplanten Maßnahmen von Gemeinden eingeführt werden, sind Wirkungen auf den Ebenen der Gemeinde und (eventuell) des Umlandes zu erwarten. Die Kontrollgruppe umfasst daher eine Gemeinde oder Region, die nicht von der Maßnahme betroffen, dennoch aber mit dem Untersuchungsraum und dessen Verkehrssystem (z. B. Modal Split) vergleichbar ist. Die Schwierigkeit besteht darin, eine betroffene Kontrollgruppe zu identifizieren und sicherzustellen, dass dort im Untersuchungszeitraum keine Aktivitäten erfolgen, die auch dort zu Veränderungen führen.

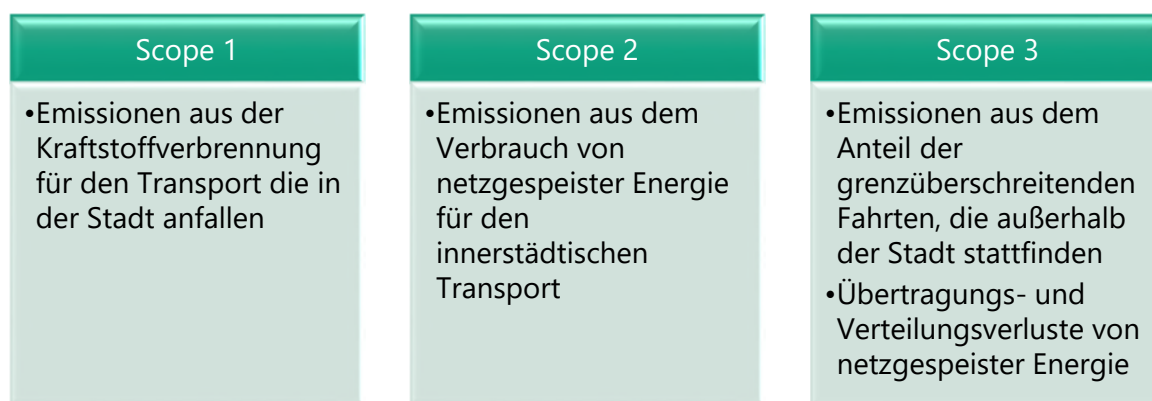
Möglicherweise kann mit der Methode der „Synthetischen Differenz-von-Differenzen Methode“ (Arkhangelsky et al. 2019) auf eine Kontrollgruppe verzichtet werden. Die Methodik nimmt an, dass ein Teil der untersuchten Gruppe niemals der Maßnahme ausgesetzt wurde, während ein anderer Teil die Wirkungen nach einem gewissen Zeitraum erfährt. Dieses setzt voraus, dass individuelles

Verhalten auch vor der Einführung von Maßnahmen erfasst werden muss. Ob die synthetische Methode anwendbar ist, kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht festgestellt werden.

2.1.3 Bilanzierungsrahmen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der grundsätzlichen Abgrenzung der Erfassung von CO₂-Emissionen im Verkehr. Die Bilanzierungstiefe definiert welche vor- und nachgelagerten Effekte einbezogen werden sollten. Die räumliche Abgrenzung erfasst nicht nur geographische, sondern auch methodische Aspekte.

Das Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories (Fong, Wee Kean et al. 2021) gibt den Rahmen für die Bilanzierung von CO₂-Emissionen in Städten wie in Abbildung 2 dargestellt, vor. Da die Verfahren für kommunale Inventare konzipiert wurden, mussten diese an einigen Stellen angepasst werden, um die Wirkungen verkehrlicher Maßnahmen korrekt zu erfassen. Im Detail wird auf die Methodik in Kapitel 2.1.4 verwiesen.



Quelle: Fong, Wee Kean et al. 2021, S. 77

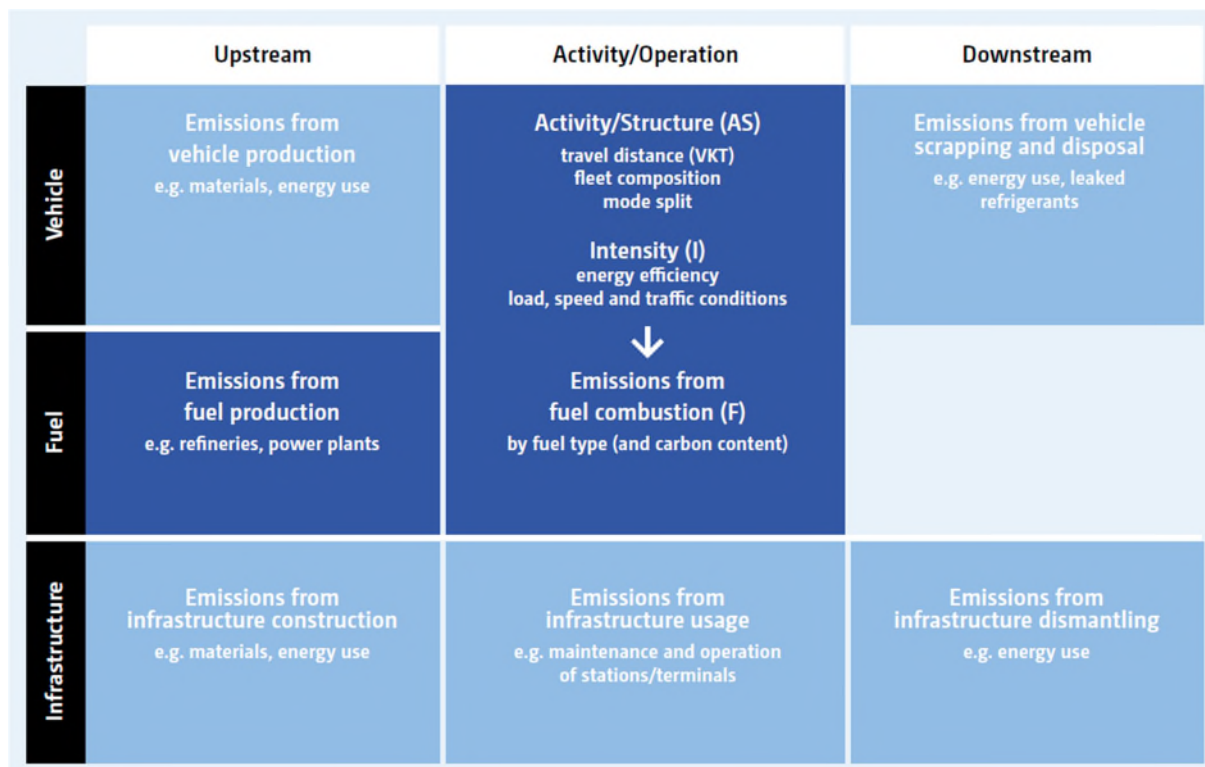
Abbildung 2: Bilanzierungsrahmen für CO₂ Emissionen in Städten

Bilanzierungstiefe

Für die Frage der Klimawirkungen von Maßnahmen ist es von Bedeutung, welche Effekte in die Berechnung einbezogen werden. Abbildung 3 gibt eine Übersicht über die in einer CO₂-Bilanz zu erfassenden Elemente. Es kann unterschieden werden zwischen den Emissionen des Fahrzeugs, denen bei der Erzeugung der Antriebsenergie und denen für die Infrastruktur. Für diese Kategorien gibt es vorgelagerte Effekte, wie z. B. durch die Produktion der Fahrzeuge, direkte Wirkungen durch den Betrieb und nachgelagerte Effekte, wie z. B. durch die Verschrottung der Fahrzeuge. Die Bilanzierung der CO₂-Emissionen nach den Vorgaben des deutschen Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes sieht jedoch eine sektorscharfe Zuordnung der Emissionen vor. Vor- bzw. nachgelagerte Emissionen, wie beispielsweise die Emissionen bei der Stromproduktion für die Nutzung in elektrifizierten Fahrzeugen, werden danach **nicht** dem Verkehrssektor zugeordnet.

Welche Effekte in die ex-post Berechnungen einfließen hängt wesentlich von der Gestaltung der Maßnahmen ab. Zeigt sich beispielsweise eine Veränderung der Verkehrsleistung, so sind lediglich die dunkelblauen Felder der Abbildung relevant. Für den Fahrbetrieb sind vor allem die Well-to-Wheel Emissionen von Bedeutung. Dabei ist die Integration aller Schritte gemeint, die zur Herstellung und Verteilung eines Kraftstoffs (ausgehend von Primärenergieträger) und dessen Verwendung in einem Fahrzeug notwendig sind. Da nach den Vorgaben des Klimaschutzgesetzes in BW nur die Tank-to-Wheel Emissionen relevant sind, wird diese Methodik im Projekt angewandt.

Wirkt sich dagegen eine Nahverkehrsabgabe auf die Fahrzeugflotte aus, so sind auch vor- und nachgelagert Effekte der ersten Zeile einzubeziehen. Für das Beispiel des Mobilitätspasses ist auch ein Ausbau der ÖPNV-Infrastrukturen möglich, wodurch die letzte Zeile der Tabelle größere Bedeutung erhält. Insbesondere für den Bahnbetrieb sind die Anteile von Infrastrukturbereitstellung und -betrieb nicht unerheblich (24 % bis 28 %, Schmaus 2019, S. 27).



Quelle: Kooshian und et al. 2018, S. 19

Abbildung 3: Bilanzierung von CO₂ Emissionen

Räumliche Bilanzierung

Hertle et al. (2014, S. 54) unterscheidet zwischen vier Arten der räumlichen Bilanzierung¹:

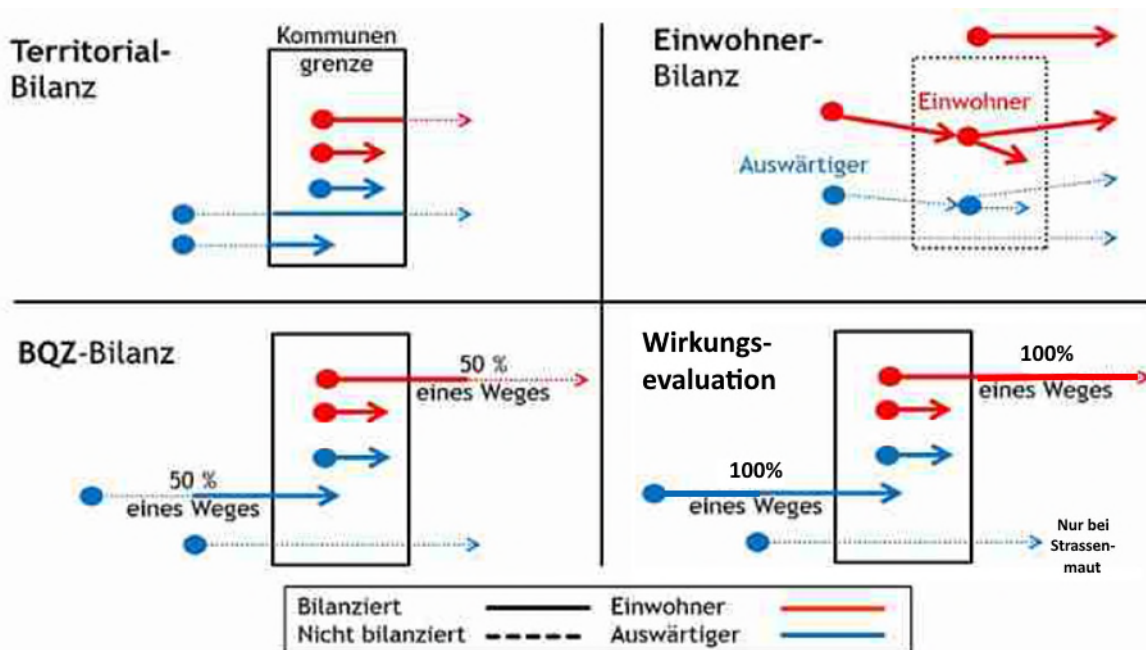
1. Territorialbilanz: Alle Verkehrsaktivitäten und deren Energieverbrauch innerhalb der Gemarkungsgrenzen werden in der Bilanz erfasst.
2. Einwohner-Bilanz: Verkehrsaktivitäten der Einwohner innerhalb und außerhalb der Kommune werden erfasst. Tlw. erfolgt die Abgrenzung auch über den Pkw-Bestand. Die lokale Bevölkerung (bzw. der Pkw-Bestand) wird mit kommunenspezifischen oder nationalen Kennziffern zum Mobilitätsverhalten bzw. der Fahrzeugnutzung (z.B. Verkehrsleistung pro Einwohner, Fahrleistung pro Pkw) verknüpft.
3. "BQZ"-Bilanz steht für Binnen-, Quell- und Zielverkehre. Die Methode erfasst die Kommune mit ihren verkehrserzeugenden Funktionen als Start und/oder Ziel von Verkehrsaktivitäten. Es werden alle Verkehrsaktivitäten erfasst, die durch Funktionen der Kommune (Wohnen, Arbeiten, Produktion, Versorgung, Freizeit ...) verursacht werden. Binnenverkehre werden

¹ Energie-Absatz-Bilanzen sind für kommunale Anwendungen kaum geeignet (Schmaus 2019, S. 32) und werden deshalb nicht weiter erläutert.

vollständig, Quell-/Zielverkehre (Start oder Ziel außerhalb der Kommune) werden anteilig der Kommune zugerechnet.

Aus Sicht der Wirkungsevaluation (Graphik rechts unten in Abbildung 4) macht es Sinn alle Binnen-, Quell- und Zielverkehre in der BQZ-Bilanz zu erfassen. Allerdings sieht das Konzept vor, dass lediglich 50 % der Verkehre, die die Stadtgrenzen überschreiten, anzurechnen sind. Dieses macht wenig Sinn, weil alle Veränderungen regionaler Verkehrsströme klimawirksam sind. Für den Fall, dass keine regionalen Daten verfügbar sind, muss auf die Territorialbilanz ausgewichen werden.

Durchgangsverkehr wird nach dem Territorialprinzip behandelt, bei dem die Fahrleistung dem durchquerten Gebiet zugeordnet wird. Dieses wäre nur für den Fall einer Straßenmaut relevant. Im besten Fall fällt die Fahrt weg, im schlechtesten erfolgt eine Umwegfahrt. Sofern die Durchgangsfahrten ausschließlich auf Bundestrassen erfolgen, sind sie nicht von der Maut im Rahmen des Mobilitätspasses betroffen.



Quelle: eigene Darstellung auf Basis Hertle et al. 2014

Abbildung 4: Räumliche Bilanzierungsmethoden

2.1.4 Methoden zur Berechnung der CO₂ Emissionen

Hertle et al. (2014, S. 53) stellen die Grundlage der Berechnungsmethodik für die CO₂ Emissionen des Verkehrs mit der folgenden Gleichung dar:

$$\text{Treibhausgasmenge} = \text{Verkehrsaktivität} \times \text{spezifischer Energieverbrauch} \times \text{Emissionsfaktor}$$

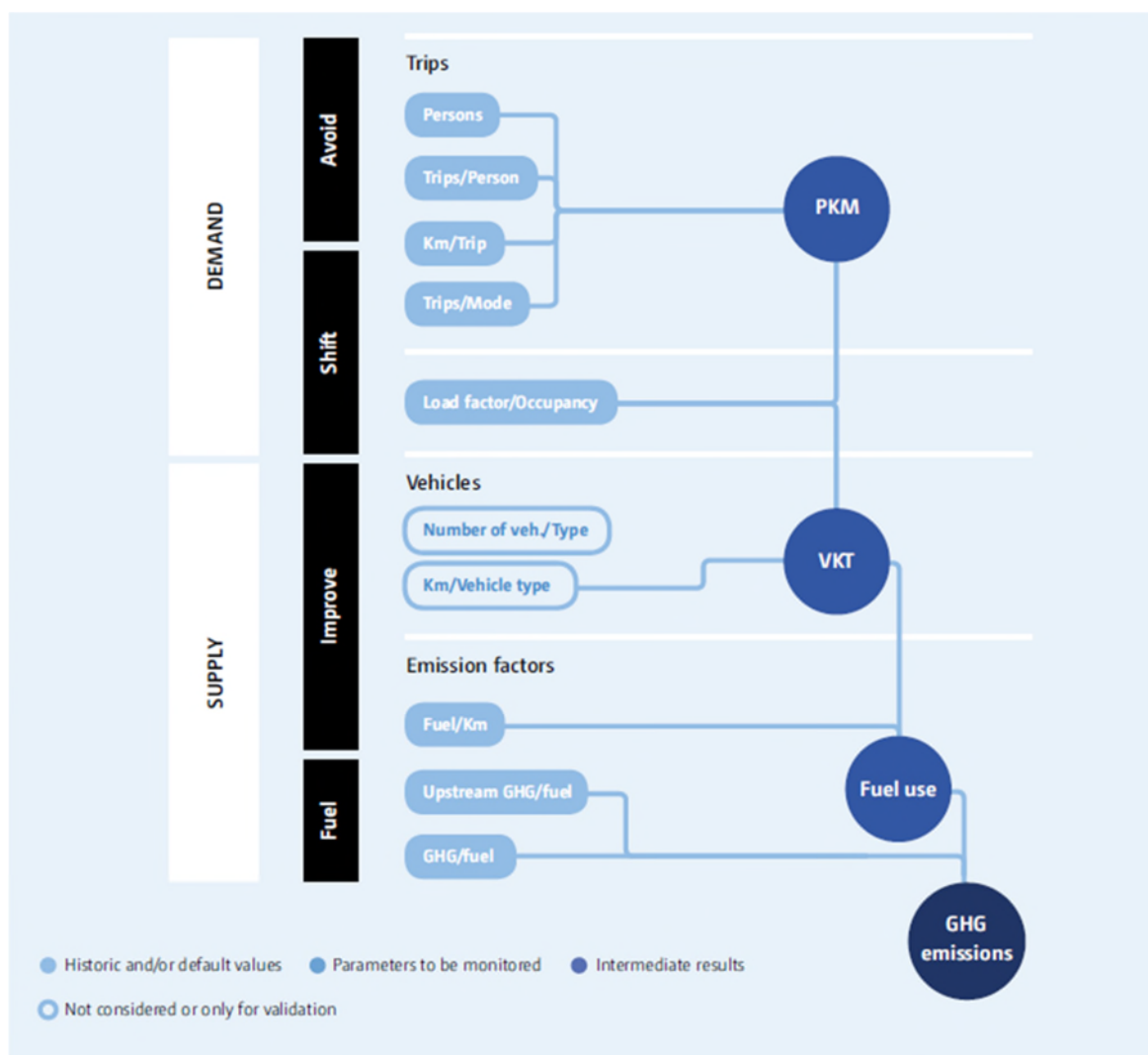
mit den folgenden Einheiten:

$$[\text{Tonnen CO}_2] = [\text{Fahrzeug-Kilometer}] \times [\text{Wattstunden/Kilometer}] \times [\text{Tonnen CO}_2 / \text{Wattstunde}]$$

Die *Verkehrsaktivität* umfasst die Fahrleistung (Fzg-km) bzw. Verkehrsleistung (Personen-km, Tonnen-km) der Verkehrsmittel. Die Höhe der Verkehrsaktivitäten und die Anteile verschiedener Verkehrsmittel (Modal Split) können je nach Kommune erheblich variieren, da sie von zahlreichen kommunenspezifischen Einflüssen abhängen (z.B. Einwohnerzahl, Verkehrsinfrastruktur, wirtschaftliche Situation).

Der spezifische *Energieverbrauch* beschreibt den Energiebedarf pro Verkehrsaktivität (kWh/Fzg-km). Dieser ist u.a. von Fahrzeuggröße, Antriebstechnologie und Auslastung sowie den Einsatzbedingungen (z.B. Geschwindigkeit, Fahrdynamik) abhängig.

Der *Emissionsfaktor* (g CO₂-Äquivalente/kWh) ist abhängig vom eingesetzten Energieträger (v.a. Benzin, Diesel, Strom).



Quelle: Kooshian und et al. 2018, S. 21

Abbildung 5: Methodik der CO₂ Emissionsberechnung im Verkehr

Kooshian und et al. (2018, S. 21) stellt die Berechnungsmethode detaillierter in Abbildung 5 dar. Dabei wird unterschieden in Verkehrsnachfrage, die in Personenkilometer gemessen wird und der Fahrleistung, die mittels der Fahrzeugkilometer dargestellt wird. Die Nachfrage berechnet sich für jeden Modus getrennt aus der Anzahl der Wege und der Weglänge. Über die durchschnittliche Auslastung der Fahrzeuge können aus den Personenkilometern die Fahrzeugkilometer berechnet

werden. Für den Fall, dass die Fahrzeugkilometer schon vorliegen, kann auf die Berechnung der Verkehrsnachfrage verzichtet werden.

Die Emissionen berechnen sich auf Basis der Fahrzeugkilometer, des Energieverbrauchs pro Kilometer nach Energieträger und dem spezifischen CO₂-Gehalt des benutzten Energieträgers. Diese Emissionsfaktoren können auch pro Personen-km berechnet werden.

2.2 Datengrundlagen

Die folgenden Daten sind relevant für die Berechnung der CO₂ Emissionen:

- die Gesamtverkehrsleistung für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, jeweils getrennt nach Antriebsart (Fahrzeugkilometer, Personenkilometer)
- die Verkehrsleistung für Bus, Straßenbahn, Stadtbahn, Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und ggf. Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) (Fahrzeugkilometer, getrennt nach Antriebsarten)
- die jeweils resultierenden Energieverbräuche der verschiedenen Verkehrsmittel nach Energieträger

Für den Fall, dass die obigen Angaben nicht zur Verfügung stehen, können weitere Daten zur Berechnung herangezogen werden:

- der Pkw-Bestand im Untersuchungsgebiet, getrennt nach Antriebsart
- ein nach Wegelängen differenzierter Modal Split
- der Anteil der einzelnen Wegelängen an der Gesamtzahl der Wege
- der Anteil der Wege nach Wegezwecken, differenziert nach Verkehrsmittel
- die Pkw-Verfügbarkeit bzw. private Motorisierung der Bürgerinnen und Bürger
- die Quantität und Qualität des ÖPNV-, Rad- und Fußwegenetzes
- der Besetzungsgrad Pkw und ÖPNV

2.2.1 Modellierung der Fahrzeugflotte

Ein wichtiger Indikator für mögliche Wirkungen ist die Fahrzeugflotte und deren Struktur. 2022 waren in Baden-Württemberg 6,9 Mio. Pkw zugelassen, was einer Dichte von 620 Pkw/1.000 Einwohner entspricht. Dichten unter 500 finden sich in den Großstädten Mannheim, Heidelberg, Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg, Ulm, Pforzheim und Heilbronn. Hohe Dichten über 650 sind in den nordöstlichen Landkreisen, auf der Schwäbischen Alb und im Nordschwarzwald zu finden.

Fahrzeugflotte in Stuttgart

Im Jahr 2022 nahm die Fahrzeugflotte in Stuttgart um 1.772 Fahrzeuge (0,5 %) ab, was fast vollständig auf private Pkw zurückzuführen ist. Der Motorisierungsgrad fiel im Laufe des Jahres von 440,5 auf 432 Pkw pro erwachsene(n) Einwohner. In den Altersgruppen unter 60 Jahren ist die Motorisierung die geringste seit Beginn der Erfassung 1992. Darüber hinaus war ein Anstieg der Haltedauer zu verzeichnen, der mit dem steigenden Preisniveau und Lieferschwierigkeiten der Automobilindustrie erklärt wird. Bei den Neuzulassungen stieg der Anteil der Oberklasse (+3,9 %), der SUVs (+5,8 %), der Geländewagen (+1,2 %) und der Wohnmobile (+11,6 %) an.

Quelle: Stuttgarter Amtsblatt Nr.6 vom 9.2.2023

Das Kraftfahrtbundesamt führt Statistiken auf der Ebene der Gemeinden, der Zulassungsbezirke und der Bundesländer, wie in Tabelle 1 dargestellt. Die 44 Zulassungsbezirke in BW, die identisch sind mit den Kreisen, liefern die detailliertesten Daten. Für Pkw wird differenziert in 9 Fahrzeugarten, 7 Antriebsarten, 3 Hubraum- und 9 Schadstoffklassen. Auf der Ebene der Gemeinden werden nur die Anzahl der registrierten Pkw erfasst. Um hier nähere Informationen zu erlangen, muss auf lokale Statistiken zurückgegriffen werden, von denen eine Auswahl in der Tabelle aufgeführt sind. Während Pforzheim und der Alb-Donaukreis nur eine Fahrzeugart auflistet, geben Stuttgart, Mannheim und Freiburg nicht nur die Kraftstoffarten an, sondern liefern auch Daten auf der Ebene der Stadtbezirke. Mehr Informationen zu dem Thema im Anhang 2.

Tabelle 1: Kfz-Statistiken für Pkw und Motorräder in Baden-Württemberg

Quelle	Ebene	Neuster Jahrgang	Fahrzeugbestand (Motorräder/Pkw) * nach:				
			Fahrzeugart	Antriebsart/ Kraftstoff	Hubraumklassen	Schadstoffklasse	weitere
Kraftfahrt Bundesamt							
Größenklassen (Excel)	Zulassungsbezirke	2021	3/5	0/7	0/3	0/9	k.A
Größenklassen (PDF)	Bundesland	2021	3/6	k.A	7/10	k.A	X
Fahrzeugkl. & Aufbauarten	Gemeinden	2022	1/1	k.A	k.A	k.A	k.A
Statistische Jahrbücher ausgewählter Gemeinden							
Pforzheim	Gemeinde	2020	1/1	k.A	k.A	k.A	k.A
Donau-Alb-Kreis	Kreisebene	2021	1/1	k.A	k.A	k.A	k.A
Stuttgart	Zum Teil Stadtbezirke*	2019/2020	k.A	0/8	k.A	0/13	X
Mannheim	Stadtteile/ Bezirke	2020	1/1	0/4	k.A	k.A	X
Freiburg	Zum Teil Stadtbezirke*	2022	1/1	0/5	k.A	k.A	X
* Anzahl der erfassten Klassen nach Motorrädern/Pkw je Statistik k.A = keine Daten erfasst							

Das Fahrzeugflottenmodell innerhalb des ASTRA Modells vom Fraunhofer ISI ist für eine feinräumige Differenzierung auf Gemeindeebene nicht geeignet, um die Wirkungen von Maßnahmen auf die Fahrzeugflotte zu modellieren. Es können jedoch Reaktionen, die auf Ebene der 4 Regierungsbezirke im Modell implementiert wurden, auf kleinräumigere Einheiten differenziert werden. Das ASTRA Flottenmodell enthält acht Antriebsarten, sieben Fahrzeugsegmente und 63 Emissionsfaktoren.

Kurzfristige Wirkungen von preislichen Maßnahmen auf die Fahrzeugflotte werden in Kapitel 2.4.1 näher erläutert. Die langfristigen Wirkungen von CO₂ Preisen, welche nicht im Rahmen dieses Projektes ermittelt werden können, führen zu einer Innovation der Fahrzeugflotte (Schade W. 2015).

2.2.2 Quellen für Verkehrsdaten

Die wichtigste Quelle zum Verkehr in Deutschland sind Mobilitätsbefragungen, die etwa alle fünf Jahre stattfinden.

- Die Befragung Mobilität in Deutschland MiD (<https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/publikationen2017.html>) wurde zuletzt 2017 durchgeführt und durch eine zusätzliche Studie für BW ergänzt, die dem Verkehrsministerium vorliegt. Die nächste MiD Befragung findet 2023 statt, die Daten werden Ende 2024 zur Verfügung stehen.
- Die Befragung Mobilität in Städten SrV (<https://www.srv2018.de>) fand zuletzt 2018 statt. Sie ist vor allem auf die kommunale Verkehrsplanung und Politik ausgerichtet. Die Untersuchung umfasst 135 Städte und Gemeinden, davon 9 in BW. Die nächste Studie ist für 2023 geplant.

Beide Erhebungen liefern wichtige Informationen zum Mobilitätsverhalten der Einwohner, die in einer kommunalen Treibhausgasbilanz nach Einwohnerprinzip verwendet werden können. Insbesondere können Verkehrsleistungen im motorisierten Individualverkehr (MIV) ebenso wie für die übrigen Verkehrsmittel im Personenverkehr abgeschätzt werden. Beim MIV werden Wege als Fahrer wie auch als Mitfahrer abgefragt. Somit können durchschnittliche Pkw-Auslastungen abgeschätzt und Fahrleistungen pro Einwohner rückgerechnet werden. Fahr- und Verkehrsleistungen der Einwohner einer Kommune können zusätzlich nach verschiedenen Wegezwecken differenziert werden. MiD bildet alle Bundesländer und Regionstypen ab und ist gut geeignet, kommunentypspezifische Mobilitätsmuster zu erfassen und auch Rückschlüsse auf das durchschnittliche Mobilitätsverhalten der Bevölkerung zu treffen (Link et al 2018, S. 222ff).

In Baden-Württemberg berechnet das Statistische Landesamt jedes Jahr Fahrleistungen auf Gemeindeebene, differenziert nach Straßentypen und Fahrzeugkategorien (Link et al. 2018, S. 222). Im Internet sind lediglich die Jahresfahrleistung im Straßenverkehr für Motorräder, Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und Busse auf Kreisebene abzurufen. Dort sind ebenfalls Daten für Pendelnde der 20 größten Arbeitsmarktzentren in BW vorhanden, gegliedert in innerörtlich Pendelnde, Aus- und Einpendelnde. Die Regionaldatenbank Deutschland (www.regionalstatistik.de) liefern Eckzahlen zu den Pendelnden auf Ebene der Gemeinden bzw. Gemeindeverbände.

Das Landesamt für Umwelt in BW (<https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de>) veröffentlicht auf Gemeindeebenen die Fahrleistungen für Motorräder, Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und deren CO₂-Emissionen. Die neusten Daten sind aus dem Jahr 2016.

Zentrale Grundlage für Verkehrsdaten für den Straßenverkehr sind Verkehrszählungen. Die Straßenverkehrszählung findet alle fünf Jahre statt. Pandemiebedingt wurde die für 2020 angesetzte Zählung auf 2021 verschoben. Im Zeitraum von April bis Oktober 2021 wurde der Straßenverkehr in der gesamten Bundesrepublik erfasst. Neben den Zählstandorten an Autobahnen und Bundesstraßen wurden in den meisten Bundesländern auch die Verkehrszahlen auf Landes- und Kreisstraßen erfasst. Automatische Verkehrszählungen finden in BW auf Autobahnen, Bundesstraßen (72 Zählstellen) und Landestraßen (46) statt (<https://www.svz-bw.de/verkehrszaehlung/automatische-strassenverkehrszaehlung>). Zusätzlich werden Zählungen durch 3.100 intelligente Leitpfosten durchgeführt (Hertle et al. 2014) S. 64).

Eine weitere Datenquelle liefert das Projekt MOBICOR Mobilität zu Zeiten von Corona. Es macht sich zur Aufgabe, Corona-bedingte Veränderungen in der Alltagsmobilität der Menschen in Deutschland zu beobachten und sozialwissenschaftlich einzuordnen. Das übergeordnete Ziel des Projekts ist es, unter Erleben der Ausnahmesituation Corona herauszufinden, welche Mobilität für das Funktionieren unserer Gesellschaft unverzichtbar ist und welche Wege womöglich auch nach

der Pandemie eingespart werden können. Dafür führte infas bundesweite telefonische Panelerhebung im sechsmonatigen Turnus mit regionalen Vertiefungen in Hessen, Baden-Württemberg und Bayern durch. Das Projekt erstreckt sich über den Zeitraum von 04/2020 bis 04/2024. Bis Juni 2023 hat MOBICOR acht Berichte veröffentlicht, neben den Wirkungen der Pandemie wurden auch Studien zur Rolle des Homeoffice und des 9-Euro-Tickets veröffentlicht (<https://www.wzb.eu/de/forschung/digitalisierung-und-gesellschaftlicher-wandel/digitale-mobilitaet/projekte/mobicor>). Van Nek et al (2023) stellt die detaillierten Ergebnisse für Baden-Württemberg zusammen.

Für größere Städte liegen lokale Verkehrsdaten oft schon aus anderen Untersuchungen vor, zum Beispiel aus kommunalen Verkehrsmodellen für Verkehrsentwicklungsplanung oder Lärmkartierung. Eine weitere Quelle für gemeindefeine Verkehrsdaten wird vom IFEU Institut (Heidelberg) bereitgestellt (Hertle et al. 2019, S. 22). Im Rahmen dieser IFEU-Territorialbilanz (s.S.13) sind Aussagen zur Verkehrsleistung differenziert nach Personen- und Güterverkehr sowie Verkehrsmitteln und den verkehrsbedingten CO₂-Emissionen möglich.

Für den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) gibt es deutschlandweite Angaben auf Kreisebene zum Verkehrsangebot (Platz-km) und zur Fahrleistung (Zug-km) durch das Statistische Bundesamt (StaBA-Publikation „Personenverkehr mit Bussen und Bahnen“). Gemeindefeine Angaben auch für Einzelgemeinden in Landkreisen kann im Allgemeinen der jeweilige Verkehrsverbund bereitstellen. Teilweise liegen auch direkt Informationen zum Energieverbrauch (Kraftstoff, Fahrstrom) vor. Gegebenenfalls kann das Verkehrsangebot auch anhand des Fahrplanangebots (Fahrleistungen/ „Betriebsleistungen“ in Fahrzeug-km, Wagen-km) mit ergänzenden Annahmen zur Beförderungskapazität der eingesetzten Fahrzeuge hochgerechnet werden. Da das Fahrplanangebot im ÖSPV im Allgemeinen kommunenfein abgerechnet wird, dürften in den meisten Fällen bei den Verkehrsunternehmen bzw. -verbänden auch bei einem Betrieb über die Gemeindegrenzen hinaus kommunenfein abgegrenzte Informationen grundsätzlich vorliegen (Hertle et al. 2019, S.23).

2.2.3 Datennutzung von Mobiltelefonen und GPS

Dieser Abschnitt untersucht, ob die Nutzung der Daten von Mobiltelefonen und GPS im Rahmen des Projektes möglich wäre, vor allem für den Fall, dass die anderen o.g. Quellen nicht ausreichend für die Berechnungen der CO₂-Emissionen sind.

Vorteile der Nutzung von Mobiltelefon-basierten Daten

Durch herkömmliche Datenquellen, wie Zählstellen, Verkehrszählungen oder Befragungen, können Verkehrsmengen im Netz, aber auch weitere Informationen wie Quelle-Ziel-Matrizen sowie Geschwindigkeiten, oft nur unzureichend abgebildet werden. Zwar sind punktuelle Vor-Ort-Erfassungen der Verkehrsstärken z.B. durch Zählstellen möglich. Diese sind aber sehr aufwändig und die Aussagekraft auf Netzebene ist begrenzt, da die Anzahl der Erhebungspunkte in der Regel gering ist (Francke et al. 2017). Im Vergleich zu Befragungen, die nur alle ein bis zehn Jahre stattfinden, sind die Daten von Mobiltelefonen rund um die Uhr verfügbar (Internationales Verkehrswesen 2017). Aufgrund der hohen Marktdurchdringung von Smartphones ist es möglich, sehr detaillierte räumliche Daten zu geringeren Kosten als bei herkömmlichen Datenerhebungsverfahren zu nutzen (Steenbruggen et al. 2013).

Es können Verkehrsdaten generiert werden zu Quelle-Ziel Matrizen, zum Verkehrsfluss, zu Geschwindigkeit, Reisezeitpunkt und -dauer, zu Verkehrsvolumen und -dichte und zu Stauungen. Häufig werden die Daten in Echtzeit erhoben (Liu et al. (2021), Janecek et al. (2015)), um aktuelle Informationen für Verkehrsteilnehmer bereitzustellen. Für die geplante Untersuchung sind Daten in Echtzeit nicht relevant.

Untersuchungsmethoden

Grundsätzlich gibt es zwei Arten der Datenerfassung: aktive und passive Lokalisierung. Die aktive Lokalisierung ist so etwas wie ein persönliches Reisetagebuch. Sie ist ein Instrument zur Aufzeichnung von mit dem Smartphone übermittelte Positionsdaten über einen längeren Zeitraum hinweg in einer Stichprobe. Der Hauptvorteil der aktiven Datenerfassung besteht darin, dass die Qualität der Rohdaten in Bezug auf Standort und semantische Informationen verbessert werden kann, indem die Probanden aufgefordert werden, bestimmte aufgezeichnete Standorte zu bestätigen oder zu ändern und Informationen über ihre Bewegungen, Haltestellen, Fortbewegungsarten usw. hinzuzufügen. Darüber hinaus kann die Aufzeichnungsfrequenz konstant gehalten und bei Bedarf angepasst werden. Der Nachteil dieser Technik - und von Umfragen im Allgemeinen - besteht darin, dass sie nur bei einer begrenzten Anzahl von Personen angewendet werden kann, die sich bereit erklären, an der Studie teilzunehmen (Smoreda et al. 2013).

Die passive Lokalisierung hingegen basiert auf den Daten des Telefonnetzes, die zu technischen oder Abrechnungszwecken automatisch erfasst werden. Sie bietet den Vorteil des Zugangs zu sehr großen Nutzerpopulationen für die Analyse von Mobilitätsströmen in einem großen Gebiet. Ihr größter Nachteil ist der Mangel an semantischen Informationen; d. h. Gründe für die Reise, Verkehrsmittel, Haltestellen und persönliche Merkmale (Smoreda et al. 2013). Deshalb besteht bei der Nutzung passiver Mobilfunkdaten die Notwendigkeit der Validierung anhand anderer Messgrößen und Erhebungsdaten. Diese Verfahren können technisch und zeitlich sehr aufwändig sein.

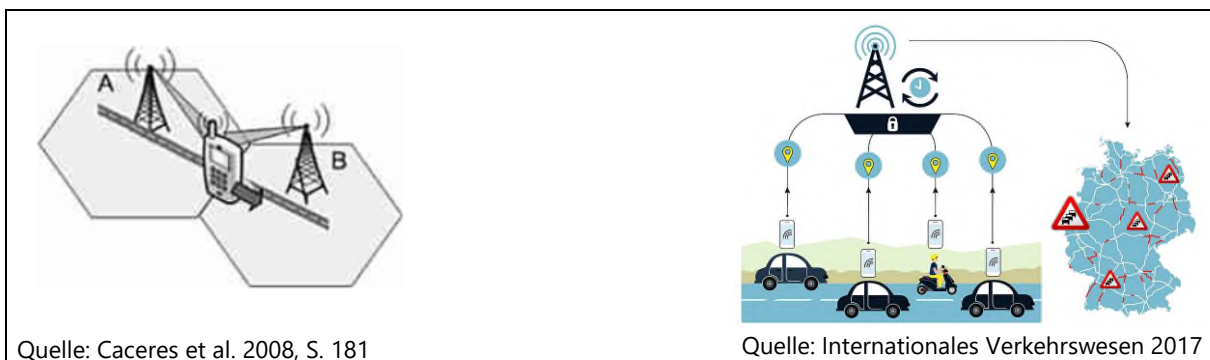


Abbildung 6: Nutzung von Mobilfunkzellen und GPS-Daten bei Verkehrserhebungen

Verfügbare Trackingdaten

Prinzipiell sollten relevante Datensätze vorhanden sein, weil beispielsweise Park-App-Anbieter Informationen zur Auslastung von Parkhäusern und P&R als Teil ihres Geschäftsmodells bereitstellen. Grundsätzlich sind zwei Arten von geographischen Mobilfunkdaten verfügbar: Informationen zu Mobilfunkzellen und Lokalisierung der Mobiltelefone mittels GPS (Global Positioning System), die beide in der Abbildung 6 symbolisch dargestellt sind.

- Über die Zuordnung eines Mobiltelefons zu den Mobilfunkzellen können anonymisierte Bewegungsströme berechnet werden (Internationales Verkehrswesen 2017; Steenbruggen et al. 2013). Zwar ist die geographische Genauigkeit geringer als bei der Lokalisierung des Ortes, es besteht aber der Vorteil, dass diese Quelle größere Stichproben ermöglicht, da Smartphonedaten ohne oder mit ausgeschalteter GPS-Funktion erfasst werden können (Caceres et al. 2008). Die Methode kann statisch angewendet werden, indem historische GSM-

Signal­daten genutzt werden, oder auch dynamisch für die Erfassung von Echtzeitdaten (Tettamanti und Varga 2014).

- Die Nutzung von GPS Daten der Mobiltelefone liefert eine Genauigkeit von 7-15 Metern, wenn keine Hindernisse, wie Bäume oder enge Straßen die Satellitenübertragung beeinträchtigen (Allström et al. 2017). Voraussetzung ist, dass die GPS-Funktion im Telefon aktiviert ist.

Nutzung von GPS basierten Reisebefragungen

Für aktive Untersuchungsmethoden werden mit GPS ausgestattete Smartphones verwendet, wobei eine Anzahl von Nutzern zustimmen, um Positionsdaten zu übermitteln (Steenbruggen et al. 2013). Die Teilnehmer können noch zusätzliche Angaben im Nachgang auf Web-basierten Befragungen aufzeichnen (Allström et al. 2017). Gao und Liu (2013) nutzen diesen Ansatz, um die Auswirkungen der verkehrsbedingten Luftverschmutzung auf die öffentliche Gesundheit zu bewerten, indem mit Hilfe der Smartphone-Ortungstechnologie in einer städtischen Umgebung persönliche Trajektorien abgebildet werden. Durch die Analyse lassen sich persönliche Wege nicht nur mit Personen in Verbindung bringen, sondern auch mit Fahrzeugen, Fahrzeugtypen, Geschwindigkeiten, Emissionsraten und Emissionsquellen von Fahrzeugen. Stopher et al. (2018) stellt dabei fest, dass es im Allgemeinen schwieriger ist, potenzielle Befragte davon zu überzeugen, ihr Smartphone für die Aufzeichnung ihrer Reise zu verwenden, als sie dazu zu bringen, ein spezielles GPS-Gerät zu benutzen, das ihnen für die Dauer der Studie zur Verfügung gestellt wird.

Limitationen bei der Nutzung von Mobilfunk- und GPS-Daten

Um die Smartphone-Daten für ein Monitoring und die Evaluation von Maßnahmen nutzen zu können, müssen sie weiter aufbereitet werden. Dazu zählen die Kalibrierung, die Kombination mit weiteren Datensätzen und die Ermittlung des genutzten Verkehrsmittels. Reale Kommunikationsdaten enthalten jedoch immer eine große Anzahl unerwarteter und unvorhersehbarer Fehler und Interferenzen, die die Analyse enorm beeinträchtigen können (Liu et al. 2021, S. 2). Auch Caceres et al. (2008) machen deutlich, dass eine Vielzahl von Problemen die Auswertung erschweren kann. Diese sind technische Probleme im Zusammenhang mit der Ortungsgenauigkeit, die z. B. bei parallelen Straßen, Einschränkungen wie Fußgänger, Handynutzer, die sich in Gebäuden aufhalten, oder mehrere Smartphones pro Fahrzeug. Fang et al. (2018) entwickelten eine Methode, mit der einzelne Wegsegmente zu einem Weg zusammengesetzt werden können. Allström et al. (2017) bemerkt, dass ein Bias der Untersuchung auf jüngere Nutzer vorliegen kann, der in der Analyse ausgeglichen werden muss. Auch der Datenschutz muss bei der Nutzung von Smartphone Daten beachtet werden (Francke et al. 2017).

Allström et al. (2017) machte die Erfahrung, dass die Einführung einer Smartphone-Anwendung als Instrument zur Erhebung von Reisedaten mehr Unterstützung erfordert als erwartet. "Es ist ähnlich wie bei der Einführung eines Produkts, an der ein multidisziplinäres Team beteiligt sein sollte, das nicht nur den Fragebogen und das Unterstützungssystem entwirft, sondern z. B. auch Mitarbeiter, die die Schnittstelle benutzerfreundlicher gestalten".

Ein weiteres Kriterium für die Nutzung von Mobilfunkdaten sind die mit der Datenbeschaffung verbundenen Kosten, die von den Providern selbst für Rohdaten erhoben werden. Trotz dieser Kritik könnte die Methodik in Zukunft für Wirkungsevaluationen genutzt werden, wenn sich die aktuell noch vorhandenen und beschriebenen Herausforderungen gelöst worden sind.

2.3 Verkehrsmodelle und Emissionsberechnungen

2.3.1 Verkehrsmodelle

Für die ex-ante Abschätzung der Wirkungen von verkehrspolitischen Maßnahmen bzw. Instrumenten auf die Verkehrsnachfrage im Personen- sowie im Güterverkehr werden häufig komplexe Simulationsmodelle verwendet. Es gibt zahlreiche Simulationsmodelle, die auf unterschiedlichen geografischen Ebenen die Personen- und Güterverkehrsnachfrage simulieren. Für die Erstellung von Klimaschutzszenarien werden jedoch auf Bundes- und Landesebene häufig die folgenden Modelle verwendet:

- Validate (PTV GmbH, basiert auf VISUM)
- ASTRA-M (M-Five/Fraunhofer ISI)
- TREMOD (nicht öffentliches Verkehrsmodell vom IFEU)
- TEMPS (Öko-Institut)

Neben der Verwendung für die ex-ante Abschätzung eignen sich die meisten Modelle auch für die ex-post Abschätzung bestimmter Klimaschutzmaßnahmen, da die meisten Modelle für ein Basisjahr anhand tatsächlich beobachteter Indikatoren kalibriert werden. Dies stellt eine zusätzliche Option für ein ex-post Monitoring der Wirkungen von Klimaschutzmaßnahmen dar, falls diese nicht anhand von tatsächlich beobachteten Werten abschätzbar sind. Während beispielsweise Fördermaßnahmen für die Elektromobilität sich einfach anhand der bewilligten Förderanträge und der Gegenrechnung der jährlichen THG-Emissionen eines durchschnittlichen Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor aus demselben Zulassungsjahr ermitteln lassen, ist beispielsweise die Förderung des Radverkehrs durch Infrastrukturmaßnahmen nicht anhand von beobachteten Indikatoren abschätzbar. Selbst Verkehrsstellenzählungen reichen hier nicht aus, um die potenziellen Verlagerungswirkungen auf den Radverkehr und die daraus resultierenden THG-Minderungen abzuschätzen. Hierfür eignen sich gut kalibrierte Verkehrsmodelle, wie die folgenden in Kürze beschriebenen Modelle. Allerdings gilt es dabei zu berücksichtigen, dass nahezu alle detaillierten Verkehrsmodelle nicht frei zugänglich sind.

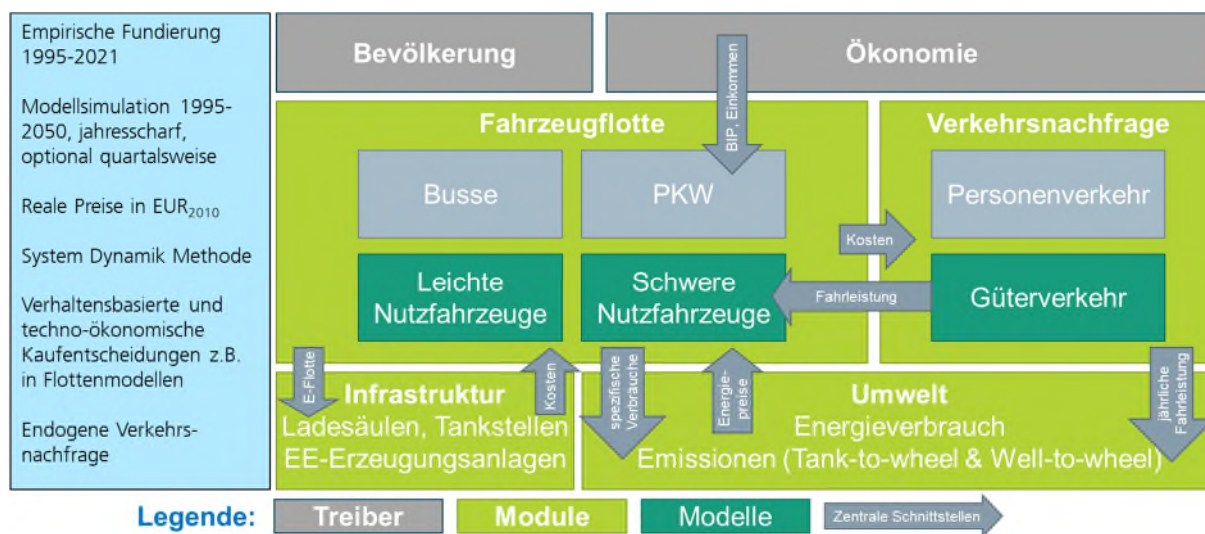
Das **Validate** Modell der PTV GmbH ist als einziges, klassisches Netzwerkmodell in dieser Liste durch sein Detaillierungslevel in der Lage, Auswirkungen von lokalen, kommunalen und regionalen Infrastrukturmaßnahmen auf den motorisierten Verkehr abzuschätzen. Es simuliert die Verkehrsnachfrage auf Basis von sozioökonomischen Daten in einem attribuierten und routenfähigen Netzwerkmodell in der klassischen 4 Stufen Verkehrsmodellierungslogik:

- Verkehrserzeugung: anhand von sozioökonomischen Daten und aus Mobilitätsumfragen abgeleiteten Wegeraten werden die Wege ausgehend von den einzelnen geografischen Zonen nach Wegezwecken ermittelt.
- Verkehrsverteilung: anhand der spezifischen Attraktivität nach Wegezweck werden die Wege aus der Verkehrserzeugung möglichen Zielzonen zugeordnet und damit Quell-Ziel-Matrizen erstellt. Die Häufigkeit für eine bestimmte Zielzone orientiert sich dabei neben dem Wegezweck an den generalisierten Kosten für die entsprechende Distanz und die Erreichbarkeit.
- Verkehrsmittelwahl: im Modal Split werden die Quell-Ziel-Wege den verfügbaren Verkehrsmitteln anhand von Elastizitäten unter der Berücksichtigung von generalisierten Kosten zugeordnet.

- Verteilung auf die Infrastruktur: In der letzten Phase werden die Wege aus dem Modal Split auf die verfügbare Infrastruktur gelegt und über ein Iterationsverfahren Staueffekte bei der Routenwahl mit einbezogen.

Validate simuliert als Punktprognosemodell die Verkehrsnachfrage neben einem Basisjahr für bestimmte Zieljahre in der Zukunft. Es berechnet die THG-Emissionen aus der Verkehrsnachfrage unter Benutzung von Zielszenarien für die Entwicklung der Fahrzeugflotten und deren Verteilung auf die verfügbaren Antriebsarten. Validate wird unter anderem auf Bundesebene verwendet, um die Bundesverkehrswegeplanung zu evaluieren.

ASTRA-M ist ein Modell, das das Fraunhofer ISI zusammen mit der M-Five GmbH seit Jahren weiterentwickelt. Es wird auf Bundesebene seit Jahren für die Erstellung der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr in den Langfristszenarien des BMWK sowie innerhalb der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie des BMDV verwendet. ASTRA-M ist ein dynamisches Prognosemodell, das ganze Zeitreihen bis maximal 2050 simuliert. Es verwendet hierfür die System Dynamics Methode. ASTRA-M simuliert dabei nicht nur die Verkehrsnachfrage, sondern auch die makroökonomischen Indikatoren, die Bevölkerungsentwicklung, den Markthochlauf alternativer Antriebe und die Luftschadstoff- sowie THG-Emissionen aus dem Verkehr (siehe Abbildung 7). Auf Grund der Komplexität der Kreislaufbeziehungen innerhalb des Modells nutzt ASTRA-M nur die ersten 3 der 4 Stufen der klassischen Verkehrsmodellierung und ist daher nur bedingt fähig, Staueffekte auf Infrastrukturen abzubilden. Dafür kann es Transformationspfade über die Zeit auf Ebene der Regierungsbezirke abbilden.



Quelle: M-Five/Fraunhofer ISI

Abbildung 7: Überblick über Module und Modelle von ASTRA-M

ASTRA-M nutzt für die Simulation der Verkehrsnachfrage ähnlich wie Validate Mobilitätsumfragen wie die MiD 2017 sowie das Mobilitätspanel, um die Verkehrsnachfrage im Personenverkehr zu simulieren. Auf Basis von Logitfunktionen wird mit diskreten Wahlverfahren die Verteilung der Wege auf Zielzonen und der Modal Split gerechnet. Somit ist ASTRA in der Lage eine Vielzahl von Klimaschutzmaßnahmen mit Wirkungen auf Infrastruktur, Fahrpreise und Fahrtzeiten abzubilden. Das endogene Fahrzeugflottenmodell erlaubt eine feine Abschätzung der Wirkungen des Markthochlaufs alternativer Antriebe auf die Verkehrsnachfrage und die THG-Emissionen. ASTRA-M nutzt für die Berechnung der THG-Emissionen Emissionsfaktoren aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren

ren (HBEFA4.1). ASTRA-M wird für alle Kernindikatoren in regelmäßigen Abständen für den Zeitraum von 1995 bis 2021 kalibriert und simuliert damit reale THG-Emissionen und nicht WLTP-Emissionen. Abbildung 8 zeigt das verwendete ASIF Schema für die Berechnung der THG-Emissionen aus dem Verkehr in ASTRA-M.

Der Nachteil für die Verwendung von ASTRA-M für diese Studie besteht darin, dass das Modell eine geringe räumliche Auflösung hat. Es bildet im besten Fall NUTS2 Räume ab, was den Regierungsbezirken entspricht. Damit ist es für kleinräumige Untersuchungen nicht geeignet. Jedoch können aus der Berechnungslogik des Modells Parameter, wie beispielsweise Elastizitäten übernommen werden.

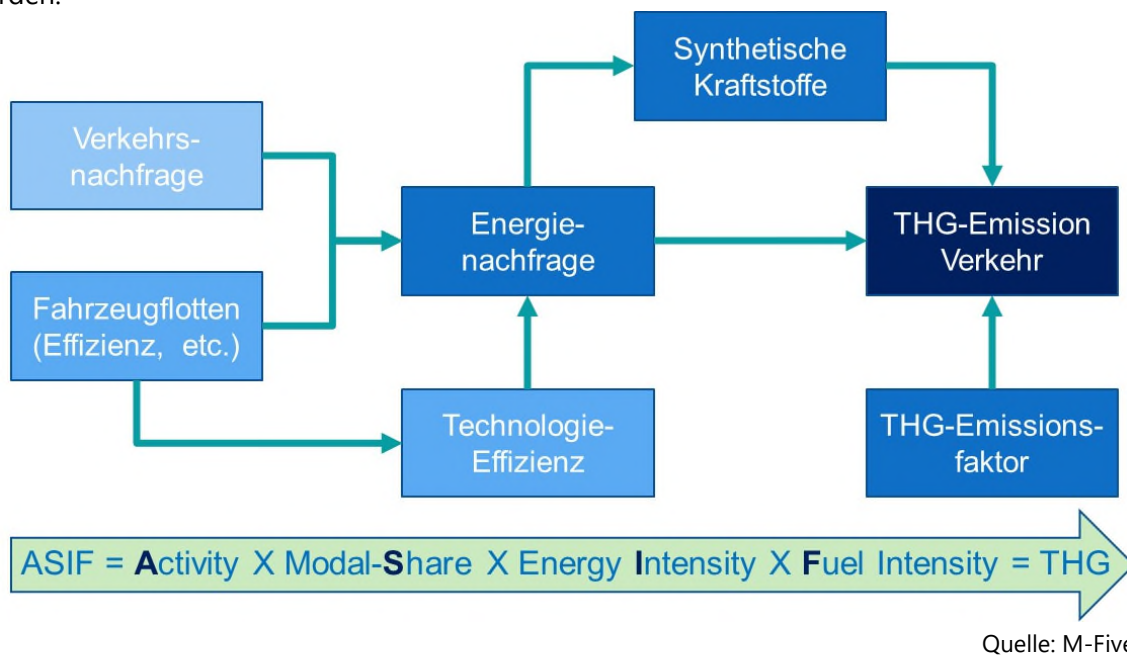


Abbildung 8: Prinzipienskizze der Ermittlung von EEV und THG im Verkehr (ASIF-Konzept)

Das **TREMOD** Modell des ifeu wird regelmäßig vom Umweltbundesamt genutzt, um Verkehrsszenarien zu rechnen. Es ist ein Emissionsberechnungsmodell und bildet den motorisierten Verkehr in Deutschland hinsichtlich seiner Verkehrs- und Fahrleistungen, Energieverbräuche und den zugehörigen Klimagas- und Luftschadstoffemissionen für den Zeitraum 1960 bis 2018 und in einem Trendszenario bis 2050 ab. In TREMOD werden alle in Deutschland betriebenen Personenverkehrsarten (Pkw, motorisierte Zweiräder, Busse, Bahnen, Flugzeuge) und Güterverkehrsarten (Lkw, Bahnen, Schiffe) erfasst. Die Berechnung der im Straßenverkehr freigesetzten Schadstoffmengen basiert auf den Emissionsfaktoren aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA). Als Emissionen werden u. a. Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoff (differenziert nach Methan und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen) sowie Benzol, Kohlenmonoxid, Partikel, Ammoniak, Distickstoffoxid, Kohlendioxid und Schwefeldioxid erfasst. Bilanziert werden die direkten Emissionen einschließlich der Verdunstungsemissionen und diejenigen Emissionen, die in der Energiebereitstellung entstehen.

Das am Öko-Institut entwickelte Modell **TEMPS** Modell wurde häufig für Abschätzungen der Verkehrsnachfrage und der THG-Emissionen für den zweijährig erscheinenden Projektionsbericht des BMUV verwendet. TEMPS ermöglicht es, den Endenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen des Verkehrs für unterschiedliche Szenarien zu quantifizieren und dabei Veränderungen der Verkehrsnachfrage, im Fahrzeugbestand und beim Kraftstoffeinsatz abzubilden (vgl. Hacker et al. 2014). Alle Entwicklungen können dabei in jahresfeinen Schritten dargestellt werden. Das Modell

besteht aus den drei Komponenten Verkehrsnachfrage, Fahrzeugbestand, Energie- und Treibhausgasbilanz. Szenarien zur Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr werden parametergestützt auf Basis der Entwicklung zentraler Mobilitätskenngrößen (Wegeanzahl, Wegelängen, Modal Split im Personenverkehr bzw. Aufkommen, Transportweiten, Modal Split im Güterverkehr) ermittelt und gehen in TEMPS als Inputgröße ein.

Die Technologiedatenbasis bildet die Grundlage für die Simulation der zukünftigen Entwicklung an Fahrzeugtechnologien. Sie dokumentiert mögliche technische Entwicklungen des jeweiligen Verkehrsträgers bis zum Jahr 2050 differenziert nach Größenklasse und Antriebskonzept und ist zumindest für Straßenfahrzeuge mit Kostenannahmen versehen. TEMPS simuliert ähnlich wie ASTRA-M die Entwicklung der Fahrzeugbestände sowie der -neuzulassungen bis zum Jahr 2050. Den Ausgangspunkt der Modellierung stellen die ermittelte Verkehrsnachfrage sowie die zur Verfügung stehenden Technologieoptionen dar. Für den Straßenverkehr erfolgt die Darstellung im Modell TEMPS detailliert auf Fahrzeugebene. Für die übrigen Verkehrsträger wird die Entwicklung in TEMPS auf einer aggregierten Systemebene modelliert.

Die Modelle TREMOD und TEMPS sind leider nicht nach dem internationalen Privatrecht frei verfügbar und können deshalb in diesem Projekt nicht genutzt werden. Daten aus TREMOD können jedoch beim Umweltbundesamt zumindest angefragt werden. Für die ex-post Bewertung könnten die Berechnungslogiken aus den Modellen übernommen werden.

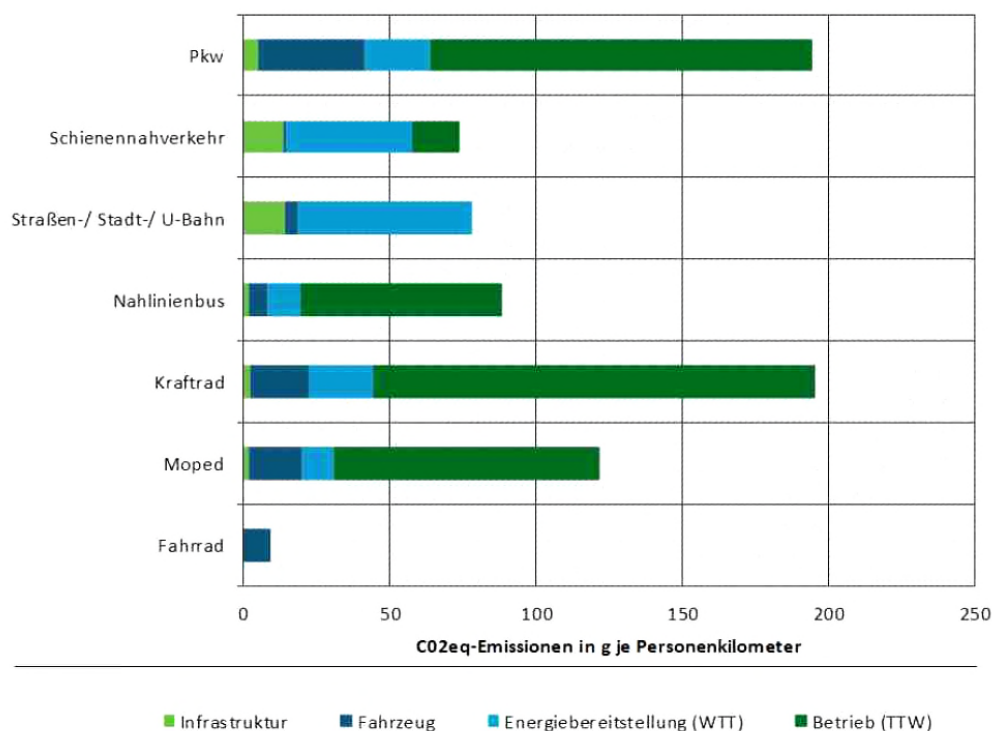
2.3.2 Emissionsfaktoren

Zumeist nutzen die im vorigen Kapitel aufgelisteten Modelle Emissionsfaktoren für THG-Emissionen für einzelne Verkehrsmittel und Fahrsituationen aus dem Handbuch der Emissionsfaktoren (HBEFA). INFRAS erstellt mit dem HBEFA Emissionsfaktoren für die gängigsten Fahrzeugtypen zur Verfügung (Pkw, Leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Linien- und Reisebusse sowie Motorräder). Diese sind differenziert nach Emissionsstandards sowie nach verschiedenen Verkehrssituationen. HBEFA liefert Emissionsfaktoren für alle reglementierten sowie eine Reihe von nicht-reglementierten Schadstoffen, einschließlich CO₂ und Kraftstoff-/Energieverbrauch. HBEFA wird beispielsweise von ASTRA-M, Validate und TEMPS verwendet.

Auf europäischer Ebene wird in Verkehrsmodellen häufig das COPERT Modell zur Berechnung der Emissionsfaktoren verwendet. Es differenziert in ähnlicher Weise wie HBEFA die Emissionsfaktoren auf der Basis von sogenannten Speed-Flow-Curves. Diese repräsentieren die verschiedenen Geschwindigkeits- und Verkehrsflussprofile der Straßentypen.

In Deutschland liegen mit dem Modell TREMOD harmonisierte und regelmäßig aktualisierte Emissionsfaktoren (Well-to-Wheel) für alle Verkehrsmittel vor. Die Emissionsfaktoren aus HBEFA stammen aus dem TREMOD Modell. Sie sind als nationale Kennwerte in den meistgenutzten Online-Bilanzierungstools für Deutschland direkt implementiert und werden für ausgewählte Jahre z. B. im Praxisleitfaden „Klimaschutz in Kommunen“ bereitgestellt“.

Die spezifischen CO₂-Emissionen der Verkehrsmodi werden dann deutlich, wenn die Emissionen pro Personenkilometer verglichen werden (s. Abbildung 9). Nach den Berechnungen des Umweltbundesamtes zeigt sich hier deutlich der Vorteil des Öffentlichen Verkehrs gegenüber dem motorisierten Individualverkehr. Für die Berechnung der CO₂-Emissionen werden die Fahrleistungen anhand der Division der Verkehrsleistungen durch spezifische Besetzungsgrade. Dafür werden die Emissionen der Treibstoffe (Well-to-Wheel), der Infrastruktur und der Fahrzeuge einberechnet. Da nach dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz BW nur die Tank-to-Wheel Emissionen relevant sind (s. Kap 2.1.3), können die Berechnungen des Umweltbundesamtes für dieses Projekt nicht verwendet werden.



Quelle: Allekotte 2020, S.122

Abbildung 9: Spezifische THG-Emissionen im Personennahverkehr

2.3.3 Tools zur Berechnung von CO₂-Emissionen

BICO2 BW ist ein Excel-basiertes Tool für die CO₂-Emissionen aller Sektoren in BW. Der Klimaschutz-Planer und ECOSPEED Region sind Internet basierte Softwarelösungen, mit denen Städte, Gemeinden und Landkreise Energie- und THG-Bilanzen nach der deutschlandweit standardisierten BSKO-Methodik erstellen können. ECOSPEED Region ist kostenpflichtig und umfasst Daten zu 1.698 Städten und Gemeinden in Deutschland. Der Klimaschutz-Planer ist ebenfalls kostenpflichtig (4 Cent/Einwohner) und stellt die folgenden Daten bereit:

- Endenergieverbräuche des Schienenpersonennahverkehrs
- Endenergieverbräuche des Schienenpersonenfernverkehrs
- Endenergieverbräuche des Schienengüterverkehrs
- Fahrleistungsdaten für Pkw, motorisierte Zweiräder, Bus, leichte Nutzfahrzeuge und Lkw
- Defaultwerte für Anzahl Fußwege und durchschnittliche Fußwegelänge
- Defaultwerte für Anzahl Wege per Fahrrad und durchschnittliche Wegelänge per Fahrrad

Beim Umweltbundesamt existiert einen deutschlandweiter Datensatz regionalisierter Emissionsdaten für den Straßenverkehr. Dieser Datensatz im UBA-Software-Tool GRETA (Gridding Emission Tool for ArcGIS) basiert auf der Berechnung räumlich aufgelöster Kfz-Fahrleistungen und ermöglicht auch die Abgrenzung von Fahrleistungen auf Gemeindeebene für jede Kommune in Deutschland (Link et al. 2018, S. 222).

Tabelle 2: Software zum Berechnen der CO₂ Emissionen des Verkehrs

Name/Organisation	Sektoren	Modellart	Quelle
Mobilise your City	Transport	Excel	www.mobiliseyourcity.net/mobiliseyourcity-emissions-calculator
TEEMP (2014)	Transport	Excel	www.thegef.org/publications/manual-calculating-ghg-benefits-gef-transportation-projects
BICO2 BW	Alle	Excel	https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/kommunaler-klimaschutz/bilanzierungstool/
Klimaschutz Planer	Alle	Internet-basierte Software	www.klimaschutz-planer.de
ECOSPEED Region	Alle	Internet-basierte Software	www.ecospeed-deutschland.de/region/de/
CIRIS (C40 Cities)	Alle	Excel	https://resourcecentre.c40.org/resources/reporting-ghg-emissions-inventories
GHG Protokoll	Alle	Excel	https://ghgprotocol.org/calculation-tools#sector_specific_tools_id
UBA GRETA	Kfz-Fahrleistungen	ArcGIS	https://www.umweltbundesamt.de/deutschland-karten-zu-luftschadstoff-daten#undefined

2.4 Preiselastizitäten der Nachfrage

Wissenschaftliche Untersuchungen quantifizieren den Zusammenhang zwischen den Kostenänderungen und der Veränderung der Nachfrage mithilfe der Preiselastizität. Die Elastizität berechnet sich aus dem Quotienten der Änderung der Nachfrage x und des Preises p .

$$n = \frac{\frac{x_2 - x_1}{x_1}}{\frac{p_2 - p_1}{p_1}} = \frac{\Delta x}{\Delta p} * \frac{p_1}{x_1}$$

Die Formel stellt eine Bogenelastizität dar, mit dem alten Preis p_1 und dem neuen Preis p_2 ; analog die Nachfrage x . Eine einfache Darstellungsform für diese Formel wäre

$$\text{Elastizität } n = \% \text{ Änderung des Verhaltens} / \% \text{ Änderung des Preises.}$$

Die recherchierten Daten können als Punktelastizitäten interpretiert werden, d.h. sie beziehen sich nur auf einen Zeitpunkt oder Zustand. Anderenfalls müsste die Elastizität als eine Kurve dargestellt werden, was die Schätzung erheblich komplizierter macht. Die Elastizitäten können für ex-ante Abschätzungen von Maßnahmen verwendet werden.

Oben wird die Elastizität als Produkt aus Preis und Nachfrage beschrieben. Elastizität können auch andere Einflussfaktoren darstellen, wie zum Beispiel Beeinflussung der Nachfrage durch Geschwindigkeitsbeschränkungen.

2.4.1 Preiselastizität beim Pkw

In der Literatur finden sich eine Vielzahl von Untersuchungen zu Preiselastizitäten von Pkw. Die untersuchten preislichen Maßnahmen umfassen die Pkw-Anschaffungskosten, Kraftstoffpreise, variable Nutzerkosten, Pkw-Vollkosten, Reisezeit von Pkw, Parkraumbepreisung, Straßennutzungsgebühr und das Einkommen. Diese wirken sich auf die Motorisierung, die Zahl der mit dem Pkw zurückgelegten Wege und der Fahrleistung aus.

Die Elastizitäten haben sehr große Bandbreiten. Die Unterschiede erklären sich u. a. damit, dass die Autonutzer unterschiedliche Möglichkeiten haben, auf Preisänderungen zu reagieren. Bei Wegezwecken, die zeitlich flexibel sind, wirken zeitabhängige Gebühren stärker als bei Wegezwecken mit geringer Flexibilität. Ähnliches gilt für das Verkehrsangebot alternativer Verkehrsmittel. Auf Relationen mit einem guten ÖV-Angebot wirken Gebühren stärker als auf Relationen ohne Alternativen. Eine weitere Erklärung sind die uneinheitliche Wahl der Bezugsgrößen der Kosten (Out-Of-Pocket-Kosten, Kraftstoffkosten etc.) und die Abhängigkeit von Personengruppen, Einkommen und Fahrzwecken von Bedeutung.

Abbildung 10 stellt die Ergebnisse der untersuchten Studien zusammen, eine detaillierte Übersicht befindet sich in Anhang 3. Die Elastizitäten beziehen sich auf Motorisierung (rot), Pkw-Wege (grün) oder auf die Pkw-Fahrleistungen (blau). Das negative Vorzeichen bedeutet, dass die Reaktion in die entgegengesetzte Richtung verläuft, z. B. eine Erhöhung der Kosten führt zu einer Verringerung der Verkehrsleistung. Es lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Elastizitäten sind in der Regel größer als -1, was bedeutet, dass die Reaktion geringer ausfällt als der Preisanstieg.
- Eine Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen wurde zu Straßennutzungsgebühren gefunden, die sich über eine große Bandbreite erstrecken. Die untersuchten Wirkungen beziehen sich ausschließlich auf die Fahrleistung. Eine detaillierte Interpretation findet sich im Kapitel 5.
- Auch das Parkraummanagement hat eine hohe Bandbreite und maximale Ausschläge von bis zu -1. Allerdings muss letzteres Datum mit Vorsicht interpretiert werden, weil es die Elastizitäten der Parkraumnachfrage, nicht aber die Pkw-Nutzung betrifft.
- Die meisten Studien zu den Anschaffungs- und Vollkosten zielen auf die Motorisierung, bzw. den Pkw-Bestand. Die Elastizität schwankt zwischen -0,3 und -0,7.
- Die Kraftstoffpreise haben vergleichsweise geringe Elastizitäten zwischen -0,1 und -0,3, im Extremfall -0,6 basierend auf einer Untersuchung in Deutschland (Hautzinger et al. 2004). Der Autor stellt allerdings fest, dass "ein Umsteigen auf den Öffentlichen Verkehr als Folge der Verteuerung des Autofahrens bisher nicht feststellbar" sei.
- Eine Veränderung der Reisezeiten mit dem Pkw wirkt sich gering auf die Motorisierung, stärker auf die Anzahl der Wege und am stärksten auf die Fahrleistung aus.
- Die Preiselastizität der Verkehrsnachfrage im ländlichen Raum beträgt aber nur die Hälfte des städtischen Raums (Dargay 2002).
- Eine Reihe von Studien zeigen, dass kurzfristige Elastizitäten niedriger sind als auf lange Sicht. In letzterem Fall haben die Nutzer mehr Zeit auf Kostenänderungen zu reagieren, z. B. durch die Wahl des Wohnorts oder des Arbeitsorts.
- Pendelfahrten sind in der Regel weniger elastisch als Einkaufs- oder Freizeitfahrten. Fahrten unter der Woche können eine ganz andere Elastizität aufweisen als Fahrten am Wochenende. Fahrten zu den Hauptverkehrszeiten in Städten sind tendenziell preisunelastisch, da

Staus von Fahrten mit geringem Nutzen (auf die leichter verzichtet werden kann) abschrecken und nur Fahrten mit höherem Nutzwert übrigbleiben (Litman 2010).

- Reisende mit höherem Einkommen sind tendenziell weniger preispfindlich als Reisende mit niedrigerem Einkommen. Geschäftsreisende sind tendenziell weniger preispfindlich als Personen, die aus privaten Gründen reisen (Litman 2010).
- Die Preissensibilität nimmt tendenziell mit der Qualität und Erschwinglichkeit alternativer Strecken, Verkehrsträgern oder Zielen zu. So sind beispielsweise Autobahngebühren tendenziell preissensibler, wenn es parallel dazu nicht gebührenpflichtige Straßen gibt. In Gebieten, die vom Autoverkehr abhängig sind und in denen die Qualität des ÖV-Angebotes schlecht ist, sind die Elastizitäten geringer (Litman 2010).
- Differenzierte Preise sind in der Regel wirksamer. So ist beispielsweise die Nachfrage nach Autofahrten zu Spitzenzeiten auf einer bestimmten Straße in der Regel elastischer als die Nachfrage nach dem gesamten Individualverkehr auf einem Korridor, da es mehr Optionen für eine Verhaltensänderung gibt (Litman 2010).

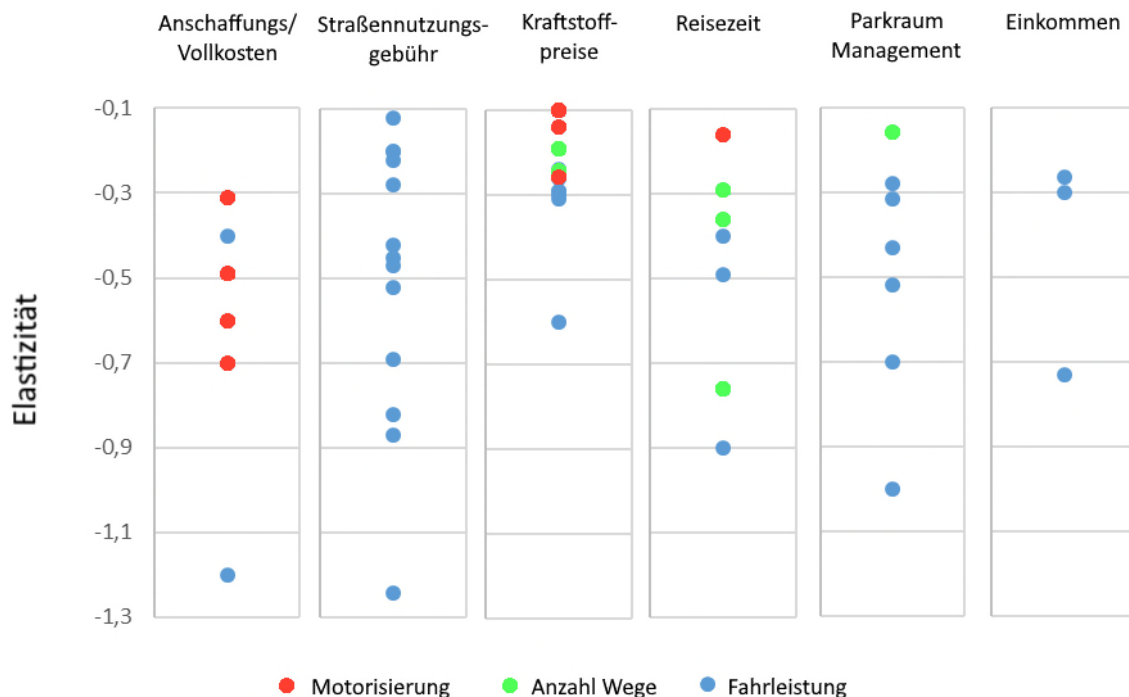


Abbildung 10: Elastizitäten im Pkw Besitz und Verkehr

Beispiele mit hoher Wirksamkeit

Aus Umweltsicht sind insbesondere die hohen Elastizitäten von Bedeutung, weil sie starke Reaktionen der Nutzer abbilden. Zu den wirksamsten Maßnahmen zählen vor allem Straßennutzungsgebühren. Börjesson und Kristoffersson (2018) berechnen zwei Elastizitäten für die City Maut in Stockholm; -1,24 im Jahr 2014 und -0,87 im Jahr 2006. Odeck und Bråthen (2008) stellen ebenfalls hohe Elastizitäten (-0,82) für die langfristigen Verhaltensänderung durch Mautprojekte in Norwegen fest. Die Straßennutzungsgebühren werden weiter in Kapitel 5.3.1 behandelt.

Im Vergleich der Studien hat die Reisezeit einen erheblichen Einfluss auf die Nutzung von Pkw. Axhausen und Fröhlich (2012) führen eine Stated Preference-Befragung 2010 zum Verkehrsverhalten in der Schweiz durch. Dabei schlägt sich besonders die Zeit kurzfristig mit -0.40 und langfristig mit -0.90 auf die MIV-Gesamtelastizität der Nachfrage im MIV nieder. Ebenso für die Schweiz berechnet Vrtic et al. (2007) mittels Modellrechnungen auf Basis von kontinuierlichen Befragungen die Nachfrageelastizität bei einer Änderung der Reisezeit mit $-0,76$.

Litman (2010) stellt eine Vielzahl von Elastizitäten, vor allem aus Amerika, zusammen und schätzt die durchschnittliche Elastizität der Pkw Fahrleistung in langfristiger Abhängigkeit von den Vollkosten auf $-1,2$. Unklar ist, ob sich diese Werte auf Europa übertragen lassen. Die höchste europäische Elastizität wurde von Ostermeijer et al. (2019) mit $-0,7$ mittels einer Regressionsanalyse in vier Städten der Niederlande berechnet.

Es ist wichtig anzumerken, dass eine Kombination von Maßnahmen höhere Wirkungen mit sich bringen kann, als durch die Elastizitäten von Einzelmaßnahmen vermuten lassen. Modellrechnungen für ein Klimaschutzszenario des Landes Baden-Württemberg zeigen, dass die Pkw-Fahrleistung um 17% reduziert werden kann, wenn die entfernungsabhängigen Nutzungskosten des Pkw um 60% und die Parkkosten um 100% steigen (ITP et al. 2017b).

Insbesondere für die Straßenbenutzungsgebühren ergab eine im Jahr 2009 in den USA durchgeführte systematische Überprüfung von Modellstudien (Axsen und Wolinetz 2021, S.2f), dass eine gemischte Strategie aus Straßenbenutzungsgebühren, verbessertem ÖPNV und kompakter Bebauung die jährliche Pkw-Verkehrsleistung über einen Zeitraum von 10 Jahren um $7-23\%$ und über 30 Jahre um $15-26\%$ senken kann. Vergleicht man die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen, so zeigt sich, dass Straßenbenutzungsgebühren, insbesondere Kilometer-basierte Gebühren, die größten Auswirkungen haben ($5-22\%$ Fzg-km Reduktion über 30 Jahre).

2.4.2 Preiselastizität im öffentlichen Verkehr

Im Gegensatz zu den Preiselastizitäten des Individualverkehrs, sind die Forschungsdaten für den öffentlichen Verkehr wesentlich homogener. Eine Übersicht über die untersuchten Studien findet sich im Anhang 4.

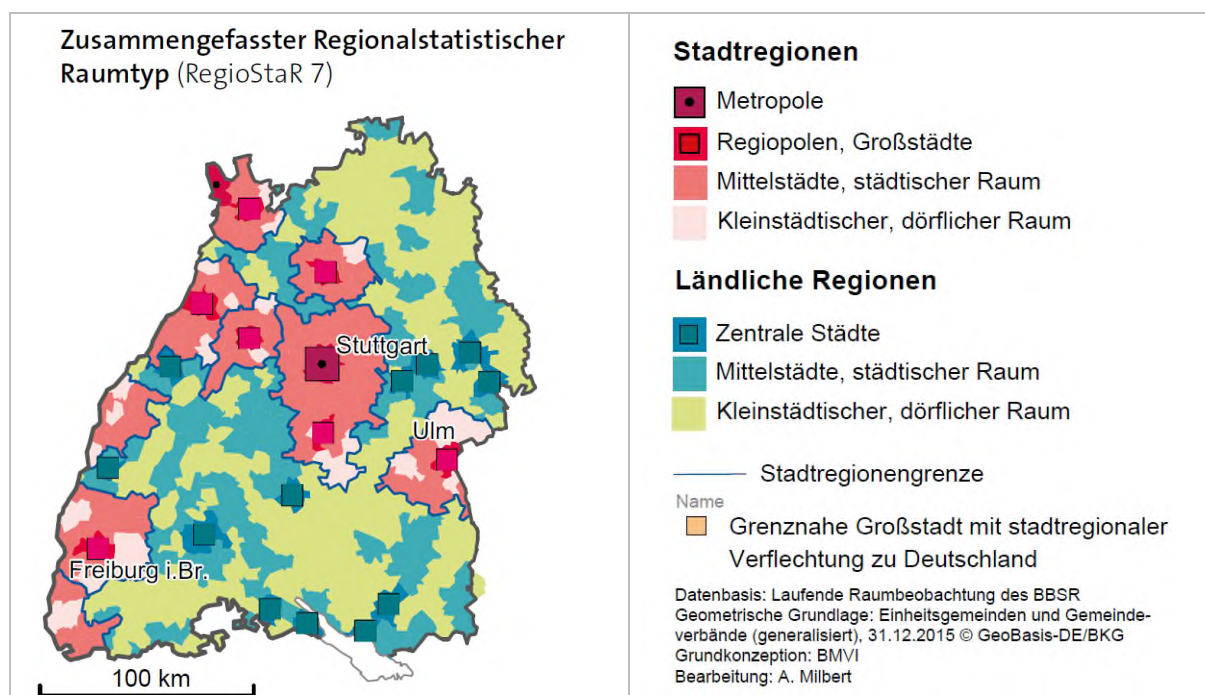
- Die untersuchten Maßnahmen umfassen eine Steigerung des ÖV-Angebotes (gemessen in Fzg-km) deren Elastizitäten zwischen $0,25$ und $0,45$ liegen. Eine Untersuchung in Polen (Swianiewicz und Brzóška 2020) stellt mit $0,68$ den höchsten Wert dar.
- Die Elastizitäten der ÖV-Fahrpreise haben größere Spannweiten zwischen $-0,2$ und $-1,3$. Das International Transport Forum (2023) schätzt die Bandbreite wesentlich geringer ein: Eine Fahrpreiserhöhung um 10% führt zu einem Rückgang der Fahrgastzahlen im ÖPNV um 1% bis 4% .
- Bemerkenswert ist, dass sich Preisänderungen bei Bussen wesentlich stärker auswirken als bei Metrosystemen. Die Fahrpreiselastizität der Busse liegt kurzfristig bei durchschnittlich $-0,4$, mittelfristig bei $-0,56$ und langfristig bei $-1,0$; die Fahrpreiselastizität der U-Bahnen liegt kurzfristig bei durchschnittlich $-0,3$ und langfristig bei $-0,6$, die der S-Bahnen kurzfristig bei $-0,6$ (International Transport Forum 2023).
- Die Analyse zeigt auch, dass Preisänderungen im Fernverkehr sich stärker auswirken als im Stadtverkehr. Auf längere Reisen wird eher verzichtet, wenn die Preise steigen als auf kurzen Strecken.
- Über den Einfluss des Einkommens auf die ÖV-Nachfrage gibt es widersprüchliche Befunde. Cordera et al. (2015) ermitteln einen negativen Zusammenhang in Spanien. In Polen ist die Elastizität fast null und statistisch kaum signifikant (Swianiewicz und Brzóška 2020). In der

Schweiz erreicht sie bis zu 0,7, aber die Autoren Vrtic et.a. (2000) stellen fest, dass eine Kreuz-Elastizität vorliegt, d.h. andere Faktoren wirken sich ebenso auf die Nachfrage aus. Die Autoren stellen fest, dass die ÖV-Nachfrage weniger vom Einkommen, sondern eher vom Angebot im MIV und dem Pkw-Bestand abhängig ist.

- Untersucht wurden auch Kreuzpreiselastizitäten, die die Wirkungen einer Preisänderung für Pkw auf den ÖV untersuchen. Die Veränderung der Pkw Reisezeit hat eine relativ hohe Wirkung (0,5-0,6) auf den ÖV. Veränderungen der Kraftstoffpreise haben dagegen geringe Wirkungen (<-0,2). Untersuchungen zu den variablen Pkw-Kosten liefern kein einheitliches Bild.
- Ebenso wie bei den Pkw sind die langfristigen Elastizitäten höher als bei kurzfristigen Reaktionen.

2.5 Räumliche Differenzierung

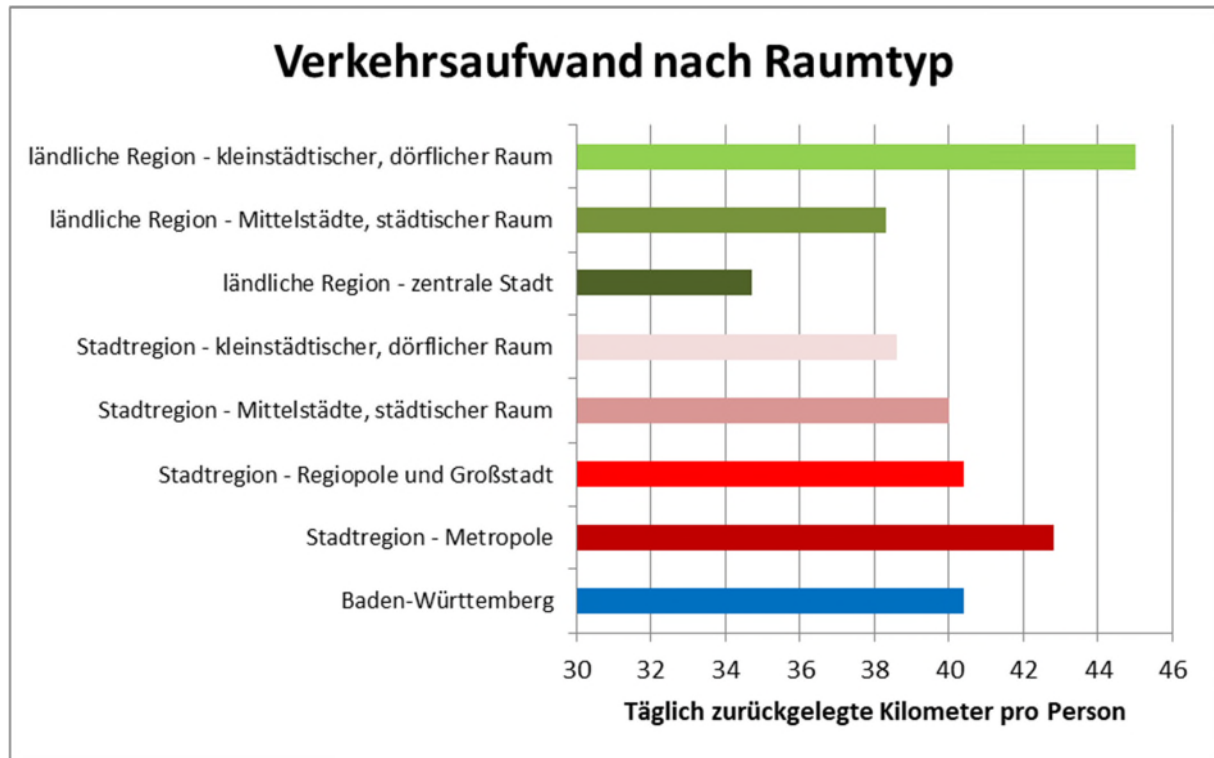
Für eine räumliche Differenzierung der Analyse sind die laufenden Raumberechnungen des Bundesamtes für Bauen, Städtebau und Raumordnung BBSR hilfreich. Abbildung 11 zeigt, dass große Teile des Landes BW städtisch geprägt sind. Auch viele ländliche Regionen werden durch Mittelstädte beeinflusst, wie z. B. Täler des Schwarzwaldes. Lediglich die hellgrünen Regionen in den Hochlagen des Schwarzwaldes, auf der Schwäbischen Alb und in Hohenlohe sind dörflich geprägt.



Quelle: MiD 2017, Regionale Aufstockung für BW

Abbildung 11: Raumtypen in Baden-Württemberg gemäß BBSR

Sieber (2019) analysiert anhand der Daten von Mobilität in Deutschland 2017 (Regionale Aufstockung für BW) den Verkehrsaufwand nach Regionstypen. Interessanterweise haben die zentralen Städte im ländlichen Raum die geringste Verkehrsleistung, gemessen in Pkm. Mit abnehmender Zentralität nimmt die Leistung im ländlichen Raum zu, mit dem Resultat, dass dörflich geprägte Regionen die höchsten Leistungen verbuchen. In den städtischen Regionen ist es aber umgekehrt. Hier nimmt mit wachsender Zentralität auch der Verkehrsaufwand zu.

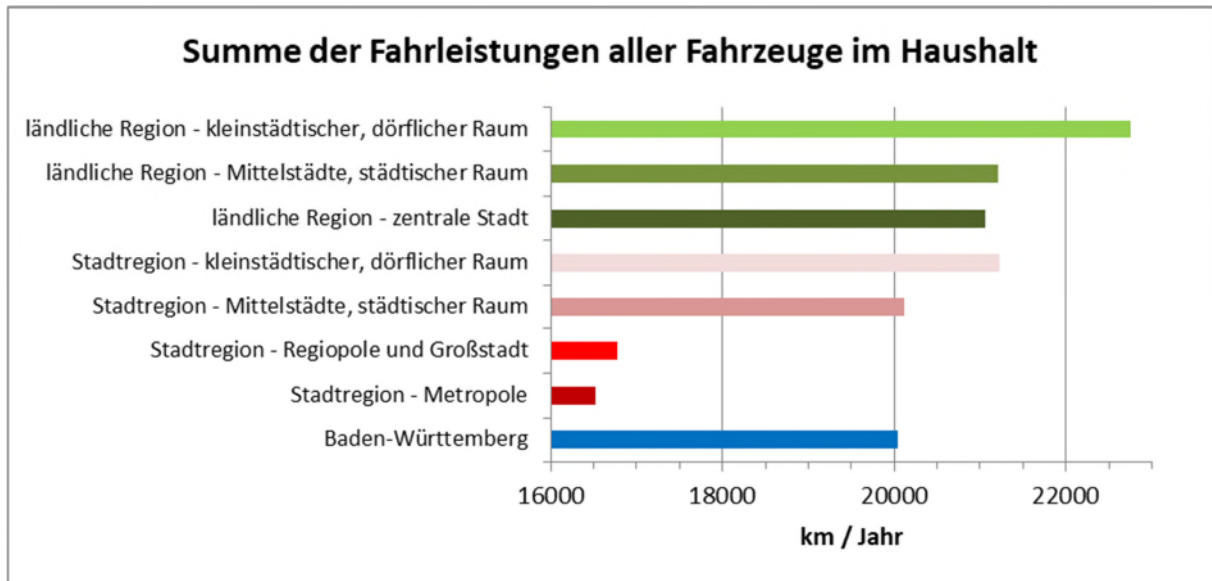


Quelle: Sieber 2019

Abbildung 12: Verkehrsleistung nach Raumtyp in BW

Der in Abbildung 12 dargestellte Verkehrsleistung spiegelt aber nicht den Energieverbrauch und damit die CO₂-Emissionen wider. Eine Analyse der Pkw-Fahrleistungen zeigt, dass vor allem in dörflich geprägten Räumen die Fahrleistung am höchsten ist. Mit zunehmender Zentralität nimmt diese erheblich ab, mit dem Resultat, dass in den Metropolen 27 % weniger Pkw gefahren wird im Vergleich zum kleinstädtischen dörflichen Raum. Ursache sind die erheblich besseren Angebote des ÖPNV und die geringer Pkw-Verfügbarkeit der Haushalte (Sieber 2019). Dennoch bleibt auch in den Metropolen die Fahrleistung mit 16.500 km pro Haushalt auf einem hohen Niveau.

Eine weitere Analyse zu den räumlichen Wirkungen preislicher Maßnahmen findet sich in Kapitel 5.4.2



Quelle: Sieber 2019

Abbildung 13: Fahrleistungen mit Pkw nach Raumtyp in BW

3 Benutzervorteile für die Elektromobilität

Dieses Kapitel untersucht, durch welche Maßnahmen die Elektromobilität am effizientesten gefördert werden kann. Dazu werden zunächst die gesetzlichen Grundlagen in Deutschland erläutert, bevor die geeigneten Methoden und Indikatoren zur Messung der Wirkungen vorgestellt werden. Die Wirkungen von Maßnahmen ergeben sich entweder aus modellmäßigen Berechnungen oder aus empirischen Erkenntnissen von Verkehrsprojekten. Für letztere gibt es eine Vielzahl von Erfahrungen aus dem Europäischen Ausland, insbesondere aus Norwegen. Untersucht werden die Wirkungen von Anreizsystemen, von Null-Emissionszonen und von Sonderspuren für Fahrzeuge mit hohem Besetzungsgrad. Am Ende des Kapitels werden mögliche Rebound Effekte untersucht und die Klimawirkungen räumlich differenziert.

Der Markthochlauf der Elektromobilität ist ein wichtiger Pfeiler für eine klimafreundliche Mobilität. Bezüglich der vorteilhaften Klimabilanz von Elektrofahrzeugen gegen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (ICEV) ist sich die Wissenschaft größtenteils einig. Studien vom ICCT (Bieker 2021), vom Fraunhofer ISI (Thielmann et al. 2020) oder vom ifeu (Helms et al. 2019) belegen eindeutige Vorteile von EVs gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren bei den THG-Emissionen über den kompletten Lebenszyklus. Um den Markthochlauf zu fördern hat die Bundesregierung schon frühzeitig erkannt, dass Benutzervorteile straßenverkehrsrechtlichen Privilegierungen den Umstieg auf Elektromobilität attraktiver werden lässt. Erfahrungen aus anderen Ländern wie beispielsweise Norwegen haben gezeigt, dass diese Bevorrechtigungen einen spürbar positiven Effekt auf den Markthochlauf der Elektromobilität haben kann.

3.1 Gesetzliche Grundlagen für die Benutzervorteile

Auf der Ebene des Bundes gibt es eine Reihe von Vorteilen, die zur Förderung der Elektromobilität geschaffen wurden. Neben der Förderung auf der Bundesebene berechtigt das Elektromobilitätsgesetz (EmoG) Kommunen, Maßnahmen zu ergreifen, um gekennzeichnete Elektrofahrzeuge im Straßenverkehr zu bevorzugen. Diese straßenverkehrsrechtlichen Privilegierungen sind nach § 3 Abs. 4 Nr. 1–4 EmoG die folgenden Bereiche:

- das Parken auf öffentlichen Straßen oder Wegen,
- die Nutzung von öffentlichen Straßen oder Wegen, die besonderen Zwecken gewidmet sind (Sonderspuren),
- die Zulassung von Ausnahmen bei Zufahrtbeschränkungen oder Durchfahrtsverboten und
- der (Teil-)Erlas von Gebühren bei der öffentlichen Parkraumbewirtschaftung.

Das EmoG schafft den nach Landesrecht zuständigen Behörden (zumeist den kommunalen Straßenverkehrsbehörden) sogenannte Anordnungsmöglichkeiten. Grundlage sind die aufgrund des EmoG angepasste StVO und die angepasste Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV).

Stand der Umsetzung in den Kommunen

Das EmoG bietet den Kommunen Handlungsspielräume, Elektrofahrzeuge zu bevorzugen. Der Umsetzungsstand des EmoG in den Kommunen wird im Folgenden aus den Ergebnissen einer Städtebefragung abgeleitet, die im Rahmen der Evaluation des EmoG im zweijährigen Turnus regelmäßig durchgeführt wird (Mayer et al. 2021). Befragt wurden bundesweit deutsche Kommunen ab 5.000 Einwohnern und Einwohnerinnen (N=631 Kommunen) im Zeitraum September bis November 2021. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Ergebnisse in Deutschland und in BW, wobei die

Maßnahmen in BW deutlich stärker umgesetzt werden als im Rest des Landes. Bemerkenswert ist, dass 48 % der Kommunen in BW 2021 noch keine Maßnahmen umgesetzt hatten. Jede zweite Kommune führt Maßnahmen zum Parkraummanagement durch, aber nur 14,5 % haben auch preisliche Maßnahmen ergriffen. Die Nutzung von Busspuren und Zufahrtsbeschränkungen wird sehr selten umgesetzt. Die Studie macht auch deutlich, dass mit zunehmender Einwohnerzahl der Anteil der Kommunen steigt, die bereits Aktivitäten im Feld Elektromobilität umgesetzt haben (Mayer et al. 2021).

Tabelle 3: Anteile an Kommunen, welche die Bestandteile des EmoG jeweils bereits umgesetzt haben

Maßnahme	Bund	Baden-Württemberg
Größe der Stichprobe N	631	110
Parken	42,5 %	50,9 %
Parkgebühren	10,5 %	14,5 %
Busspuren	0,5 %	0,9 %
Zufahrtsbeschränkungen	0,9 %	1,8 %
Umsetzung mind. ein Bestandteil des EmoG	48,2 %	51,8 %

Quelle: Mayer et al. 2021

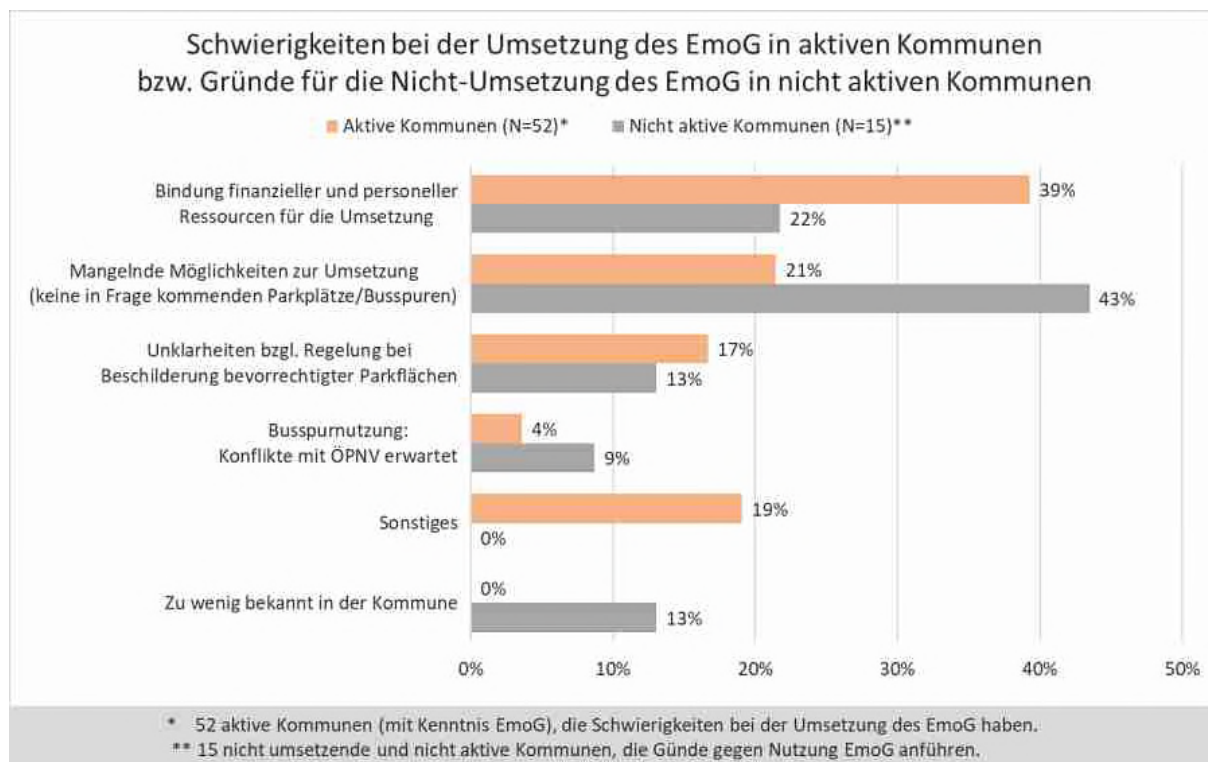
Die Studie (Mayer et al. 2021) zeigt auch (siehe Abbildung 14), dass aktive Kommunen in der finanziellen und personellen Ressourcenbindung deutlich häufiger eine Herausforderung sehen (29 %), als nicht aktive Kommunen dies erwarten (22 %). Der Anteil der Kommunen, die mangelnde Möglichkeiten zur Umsetzung sehen, in aktiven Kommunen (21 %) fällt geringer aus als in nicht aktiven Kommunen (43 %). Die Unklarheiten bzgl. der Regelung bei der Beschilderung bevorrechtigter Parkflächen fällt für beide Gruppen etwa gleich stark aus. Auch die erwarteten Konflikte mit dem ÖPNV im Kontext der Freigabe von Busspuren werden von beiden Gruppen – im Verhältnis zu den anderen Hemmnissen – in einer ähnlichen Größenordnung als nachgelagertes Hemmnis angegeben. Weitere Schwierigkeiten sind Personalmangel, der die Kontrolle erschwert, Bürgerbeschwerden, Widerstände auf Landkreisebene und Flächendruck.

Die Evaluatoren des EmoG (Mayer et al. 2021) schlagen für die Weiterentwicklung des EmoG die folgenden weiteren Maßnahmen zur Bevorrechtigung von Elektrofahrzeugen vor:

- Begrenzung der Parkplatzvorhaltung auf die Ladedauer, um die Verfügbarkeit von Ladepunkten zu erhöhen sowie
- konsequenteres Vorgehen gegen Falschparkende.

Die Einführung kostenlosen Bewohnerparkens für Elektrofahrzeuge ist hingegen sowohl gesetzes-systematisch als auch nach Sinn und Zweck der aktuellen Regelung abzulehnen. Die Evaluation geht auch auf die Notwendigkeit einer Anpassung der Umweltkriterien des EmoG ein. Auf Grund der enttäuschenden Ergebnisse von Analysen der Potenziale von Plug-in Hybrid-elektrischen Pkw (PHEV) zur Verringerung der THG-Emissionen, sollten die Kriterien für die Gewährung von Bevorrechtigungen überprüft werden. Eine Möglichkeit der Steigerung der Klimafreundlichkeit von PHEV

besteht in der Erhöhung des elektrischen Fahranteils. Dieser kann durch eine Erhöhung der vorgeschriebenen Mindestreichweite verbessert werden, welches als Kriterium im EmoG verändert werden kann.



Quelle: Mayer et al. 2021, S. 27

Abbildung 14: Schwierigkeiten der Umsetzung des EmoG in den Kommunen

3.2 Methoden und Indikatoren zur Messung der Wirkungen

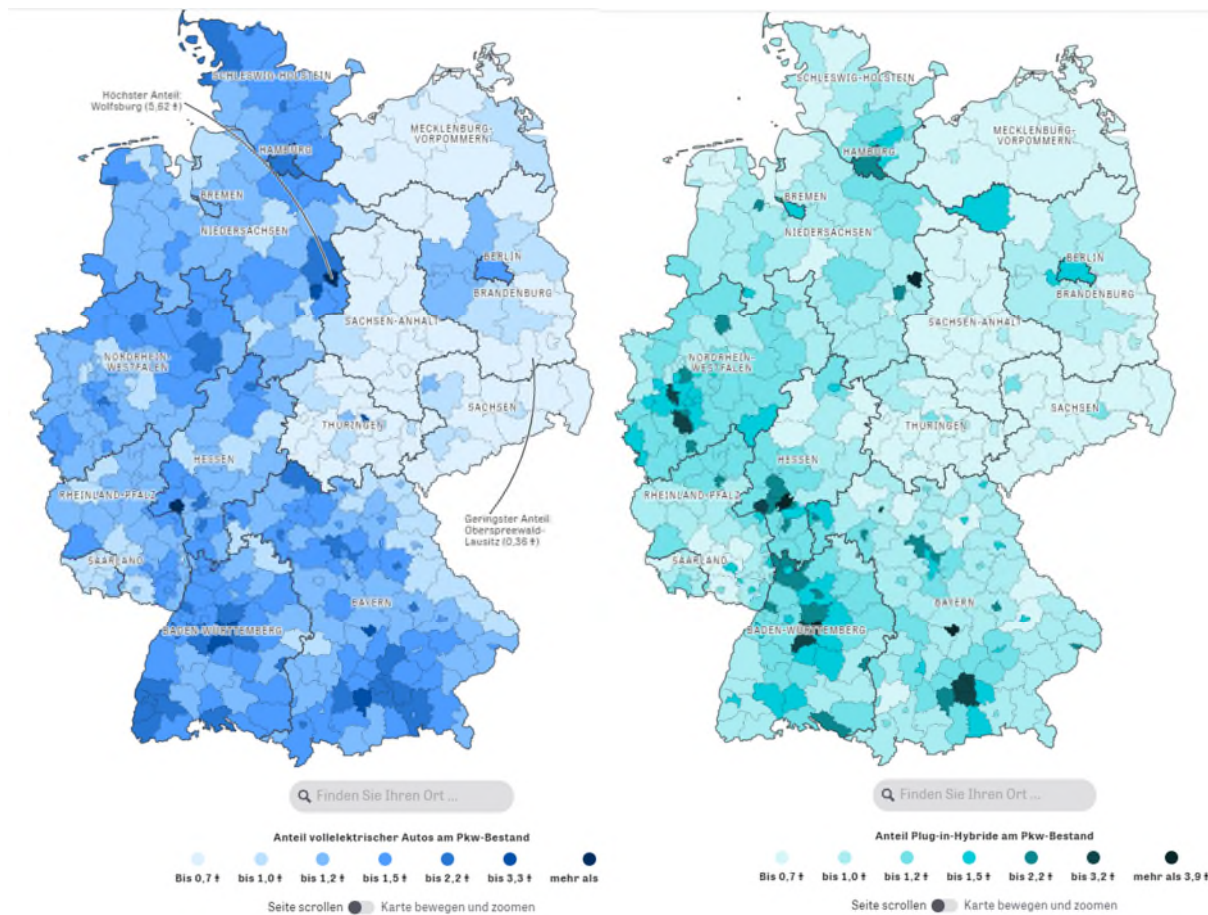
Bestand an Elektromobilen in BW

Der wichtigste Indikator für die Messung der Wirkungen ist die bedingt durch die Maßnahmen zusätzliche elektrisch betriebene Fahrzeugflotte. Von Januar bis Dezember 2022 wurden deutschlandweit etwa 525.000 Batterieelektrische Pkw (BEV) zugelassen. Das entspricht einem Gesamtanteil von knapp 16,2 % der Pkw-Neuzulassungen (KBA, FZ28 2022). In Baden-Württemberg liegt dieser Anteil mit 19,4 % deutlich höher. Berücksichtigt man alle alternativen Antriebe (inkl. Hybrid-Arten, Wasserstoff etc.) liegt der Anteil an den Neuzulassungen in BW im gleichen Zeitraum bei 35 % (deutschlandweit 31 %) (KBA FZ28 2022).

Beim Fahrzeugbestand machen rein elektrisch betriebene Fahrzeuge in Baden-Württemberg einen Anteil von nur 1,8 % aus (1,6 % deutschlandweit)². In Baden-Württemberg ist der Anteil an BEV im Bestand mit 3,4 % im Stadtkreis Stuttgart am höchsten. An zweiter Stelle folgt Böblingen mit 3,2 %. Der geringste BEV-Anteil ist in Heidenheim mit 1,3 % zu beobachten (KBA, FZ27 2022). Unter zusätzlicher Berücksichtigung aller alternativer Antriebe (alle Hybrid-Arten + Wasserstoff etc.) ist BW weit ein Anteil von 7,3 % am Gesamtfahrzeugbestand zu beobachten, wobei auch hier die Stadt Stuttgart mit anteilig 12,7 % heraussticht.

² KBA, FZ27 2022, Stand: 1.Oktober 2022

2022 waren in Stuttgart 32,7 % aller gewerblich zugelassenen und 6,5 % aller privaten Fahrzeuge mit einem elektrischen Antrieb ausgestattet. Davon waren aber der größte Teil hybride Fahrzeugantriebe und nur 9,4 % des gewerblichen und 1,8 % des privaten Fuhrparks rein elektrisch betrieben³.



Quelle: Kraftfahrtbundeamt 2021

Abbildung 15: Anteil von BEV (linke Karte) und PHEV (rechte Karte) an den gesamten Pkw Neuzulassungen in den Kommunen im Jahr 2021

Eine Analyse des Kraftfahrtbundeamts aus 2021 hat auf Ebene der Kommunen die Anteile der Neuzulassungen von BEV und PHEV bei Pkw genauer untersucht. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Anteile der Neuzulassungen von BEV und PHEV in der Nähe der Produktionsstandorte der deutschen OEMs mit Abstand am höchsten waren. Eine mögliche Ursache für diese Auffälligkeit könnte neben dem allgemein höheren Einkommensniveau und den durchschnittlich höheren Kaufpreisen von BEV und PHEV im Vergleich zu Pkw mit Verbrennungsmotoren durch die europäischen CO₂ Flottenregulierung begründet sein. Durch die vermehrte Zulassung von BEV und PHEV auf Mitarbeiter der OEM könnten die Hersteller auch die Vermeidung von Strafzahlungen beeinflusst haben. Im Falle von Baden-Württemberg mit der Region Stuttgart kann der hohe Anteil der Elektromobilität an den Neuzulassungen aber auch durch die Gewährung von Bevorrechtigungen wie kostenlosem oder exklusivem Parken zurückzuführen sein.

³ Stuttgarter Amtsblatt Nr,6 vom 9.2.2023

Indikatoren für Analyse der Klimawirkungen von Benutzervorteilen für die Elektromobilität

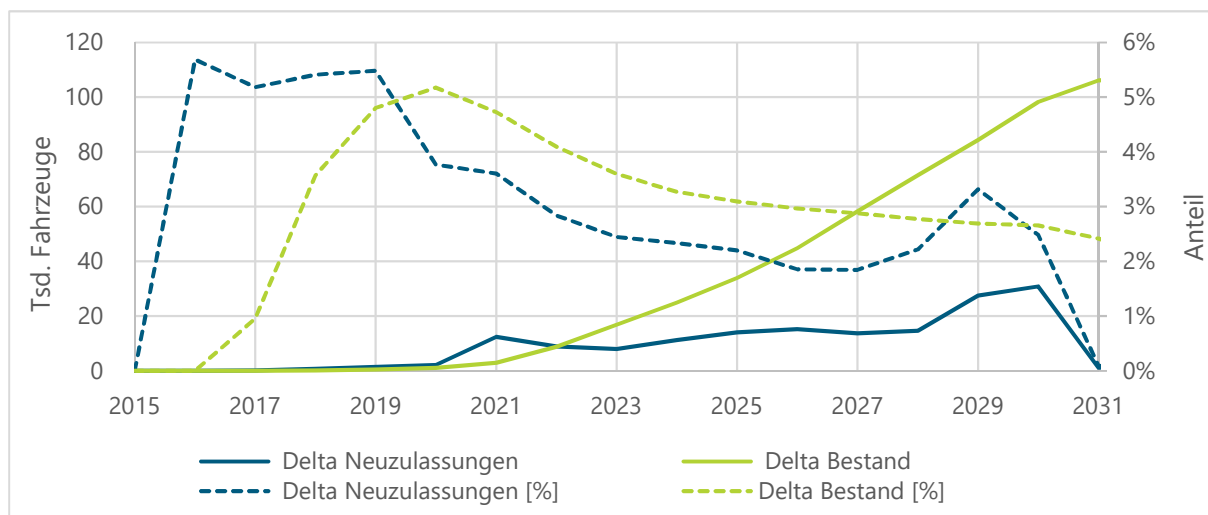
Indikator 1: Bestand an BEV

Indikator 2: Neuzulassungen von BEV

Indikator 3: Jährliche CO₂ Emissionen pro Fahrzeug der restlichen Fahrzeugflotte

3.3 Modellmäßige Berechnungen der Wirkungen

Das Fraunhofer ISI hat eigene Berechnungen auf Basis der Erkenntnisse von Bjerkan et al. (2016) zur Wirkung der Bevorrechtigungen in Norwegen auf Deutschland übertragen. Zu diesem Zweck wurde das Antriebswahlmodul im Pkw-Flottenmodell des ASTRA-M Modells auf die empirisch ermittelten Anteile der Wirkungen aus Norwegen hin angepasst. Die Anteile der in Folge der straßenverkehrsrechtlichen Privilegierungen aus dem EmoG zusätzlich neu zugelassenen Elektrofahrzeuge (nur Pkw) pendelt sich dabei nach anfänglich hohen Anteilen zwischen 2 und 5 % ein. In absoluten Zahlen bedeutet dies, dass beispielsweise im Jahr 2022, ohne die Bevorrechtigungen etwa 10.000 weniger neu zugelassene BEV und PHEV zu beobachten gewesen wären (siehe Abbildung 16).



Quelle: Eigene Berechnungen mit ASTRA-M

Abbildung 16: Abschätzung des Anteils der Bevorrechtigungen im EmoG am Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland

3.4 Empirische Erkenntnisse aus Verkehrsprojekten

3.4.1 Anreizsysteme im Europäischen Ausland

Tabelle 4 gibt einen Überblick über Anreize, die von europäischen Kommunen gesetzt werden, um die Elektromobilität zu fördern. Bei den monetären Anreizen dominieren vergünstigtes Parken und der Erlass von Mautgebühren. Letztere werden in Deutschland jedoch nicht angewendet. Während im Ausland die monetären Anreize dominieren, sind in Deutschland nicht-monetäre Anreize weitverbreitet. Hier ist insbesondere ein erleichterter Zugang zu Umweltzonen zu erwähnen.

Tabelle 4: Kommunale Anreize für die Elektromobilität im Europäischen Ausland

	GB	NL	NO	A	D
Monetäre Anreize in der Anwendung					
Reduzierung/Erlass von Mautgebühren	✓		✓	✓	N/A
Vergünstigtes oder kostenloses Parken	✓		✓	✓	✓
Vergünstigung Ladestrom		✓		✓	
Nicht-monetäre Anreize					
Bevorzugte Parkmöglichkeiten (Parkplätze nur für EV)			✓		✓
Sondernutzungsrechte und Privilegien				✓	✓
Zugang zu Sonderspuren			✓		✓
Zugangserleichterungen (Umweltzone, ausgeweitete Lieferzeiten)	✓	✓			✓

Quelle: Mayer et al. 2021, S 29

Die Auswertung (Mayer et al. 2021) ist besonders für die Länder in Europa interessant, die einen höheren Anteil von BEV und PHEV an den Neuzulassungen haben als Deutschland, nämlich Norwegen und die Niederlande. Norwegen hat als Vorreiterland anfangs mit einer beachtlichen Kombination an Bevorrechtigungen bereits im Jahr 2018 die Elektromobilität attraktiv gemacht. Auf Grund des großen Erfolgs der Elektromobilität (im Jahr 2021 waren fast 2/3 der neu zugelassenen Pkw reine BEV) wurden jedoch die Bevorrechtigungen schrittweise zurückgefahren. Dies betrifft unter anderem die Nutzung von Busspuren, das kostenlose Parken oder eine vergünstigte Maut. Die Niederlande arbeiten hierbei mit Null-Emissionszonen beispielsweise für den städtischen Verteilerverkehr. Im Gegensatz zu Deutschland wird bei den Bevorrechtigungen jedoch konsequent zwischen BEV und PHEV unterschieden. PHEV-Nutzer kommen dort nicht in den Genuss der Bevorrechtigungen, während das EmoG das in Deutschland ermöglicht. Zu den Sondernutzungsrechten und Privilegien aus der Auswertung gehören für Österreich beispielsweise die Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung von 100 km/h auf Autobahnabschnitten zur Luftreinhaltung für BEV oder das gesetzlich im Wohneigentumsgesetz verankerte "Right to plug".

Ein Überblick über die Wirkungen der verschiedenen Anreize in Skandinavien auf die Entscheidung für den Kauf eines Elektromobils wird in Abbildung 17 präsentiert. Deutlich wird, dass die ökonomischen Vorteile für Parken und bei der Maut nur zu einem geringen Teil den Ausschlag für den Kauf eines BEV darstellen. Die Kostenvorteile bei Anschaffung und den Steuern machen zusammen über 40 % der Motivation aus. Kostengünstiges Parken schlägt mit 12 % und die Mautbefreiung mit 15 % bei der Kaufentscheidung zu Buche. Immerhin waren 20 % der Gründe die Umweltfreundlichkeit des BEV.

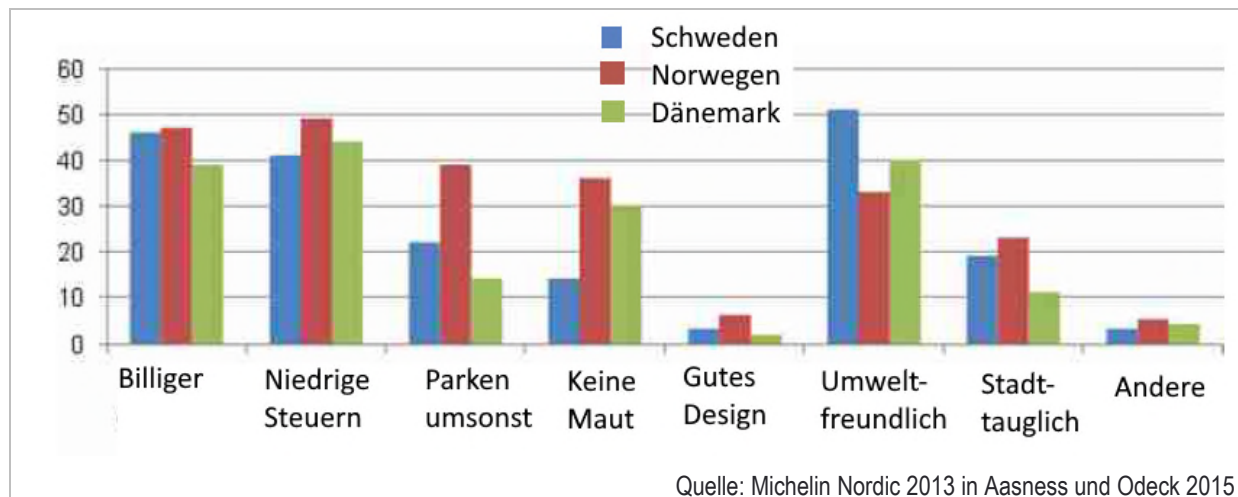


Abbildung 17: Gründe für den Wunsch, beim nächsten Fahrzeugkauf in Schweden, Dänemark und Norwegen ein Elektroauto zu kaufen

Eine Forschung von Bjerkan et al. (2016) bestätigt die geringere Bedeutung des Parkens. Die Autoren befragten BEV-Besitzer in Norwegen, welche der dort gültigen Privilegien für BEVs für die Fahrzeugwahl entscheidend war. Relevant für Kommunen sind „Free parking“ und „Bus lane access“. Die Nennungen wurden um den Anteil derer korrigiert, die beide Privilegien genannt haben. Nur 8 % der Kaufentscheidung wurde durch die Befreiung der Parkgebühren beeinflusst. Die Nutzung von Busspuren schlug sich nur mit 4 % nieder.

Tabelle 5: Berechnung der Wirkung von Anreizen auf die Kaufentscheidungen von BEV in Norwegen

Privileg	Kaufentscheidend	korrigiert	Anteilig
Exemption purpose tax	83%	83%	
Exemption VAT	81%	81%	
Exemption road tolling	49%	49%	
Vehicle license fee reduction	48%	48%	
Free parking	24%	24%	8%
Bus lane access	21%	11%	4%
Free ferry tickets	13%	13%	
Summe			11%

Quelle: Eigene Berechnung nach Bjerkan et al. 2016

Fearnley (2013) haben die Anreize in Norwegen in Bezug auf ihre zukünftige Wirkung hin untersucht und modelliert. Dabei zeigt sich, dass fiskalische Maßnahmen, die sich auf den Kaufpreis auswirken stärker wirken als solche, die sich eher auf die Betriebskosten auswirken. Wie Abbildung 18 zeigt, hatten die kostenlosen Parkgebühren und die Ausnahmen von den Mautgebühren (rote Einkreisung) einen sehr geringen Anteil an der Kaufentscheidung.

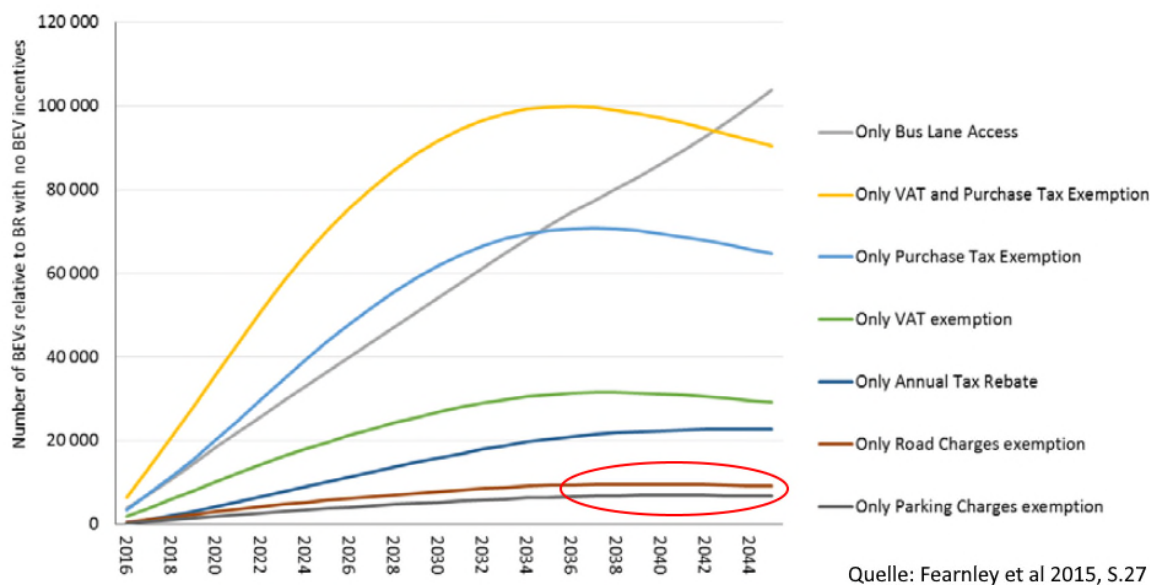


Abbildung 18: Beitrag einzelner Anreize zur Entwicklung der Zahl der BEV in Norwegen

Münzel et al. (2019) machen eine Literaturanalyse über 18 empirischen Forschungen in den USA und Skandinavien zu den Wirkungen von Anreizen für den Kauf von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen (Batteriefahrzeuge und Plug-In Hybride) vergleicht. Neben den weiter unten aufgeführten Wirkungen durch kommunale Maßnahmen, zeigt sich eine Subvention des Kaufpreises als besonders wirksam. Die unterschiedlichen Ergebnisse von drei Studien wurden mit der Größe der gewichtet. Ein Anreiz in Höhe von 1.000 € führt zu einer Steigerung des Verkaufes von Elektrofahrzeugen 4,2 %. Weiterhin untersuchten die Autoren (Münzel et al. 2019) Datensätze zu Verkaufszahlen in 32 Europäischen Ländern über den Zeitraum 2010 bis 2017. Sie kommen zu dem Schluss, dass ein Anreiz von 1.000 € den Verkaufsanteil von Batteriefahrzeugen und Plug-In Hybriden im Durchschnitt um etwa 5-7 % erhöhen würde, z. B. von 2 % auf 2,10-2,14 % Verkaufsanteil.

3.4.2 Wirkungen von Bevorrechtigungen in Norwegen

Die Rolle Norwegens ist besonders hervorzuheben, weil dort eine Vielzahl von Maßnahmen zu Förderung der Elektromobilität implementiert wurden: Reduzierte Mautgebühren oder für Fähren; kostenlose Parkplätze, Freigabe von Busspuren für Elektrofahrzeuge und kostenloses Laden an öffentlichen Ladestationen. PHEV erhalten in Norwegen keine dieser Bevorrechtigungen. Weiterhin wird die Elektromobilität für reine BEV und FCEV steuerlich bevorzugt: es fällt beim Kauf eines BEV und FCEV keine Mehrwertsteuer in Höhe von 25 % an. Zudem wird keine Zulassungs- und Verkehrsversicherungssteuer erhoben, wodurch Elektrofahrzeuge günstiger sind als vergleichbare Verbrennerfahrzeuge. 2021 waren ca. 64 % der neu zugelassenen Fahrzeuge reine BEV (Mayer et al. 2021).

Aasness und Odeck (2015) untersuchen die Gründe für den enormen Anstieg von E-Fahrzeugen in Norwegen, der das Land zur Nummer 1 bei der Nutzung von E-Fahrzeugen gemacht hat. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die norwegische Regierung eine Vielzahl von wirtschaftlichen Anreizen geschaffen hat, die den Kauf und die Nutzung von E-Fahrzeugen erheblich verbilligt haben. Zu den Anreizen gehören Steuerbefreiungen, Mautgebühren, Parkgebühren und der Zugang zu Busspuren. Umgerechnet in Geld bedeuten diese Anreize eine enorme Ersparnis und haben die Norweger natürlich dazu veranlasst, E-Fahrzeuge in großer Zahl zu kaufen und zu nutzen.

Die Autoren stellen aber auch fest, dass viele dieser Anreize Auswirkungen haben, die durch das starke Anwachsen der BEV-Flotte verursacht wurden. So führte beispielsweise die Befreiung von der Maut zu einer Verringerung der Mauteinnahmen, und der Zugang zu den Transitspuren hat zu Staus auf diesen Spuren geführt, was für die Nutzer öffentlicher Verkehrsmittel eine längere Reisezeit zur Folge hatte. Der Erlass der Parkgebühren zog einen Rückgang der kommunalen Einnahmen nach sich. Kotilainen et al. (2019) und (Lieven 2015) bestätigen diese Aussage. Aus diesen Gründen werden die Privilegien in Norwegen langsam wieder zurückgenommen. Mittlerweile können kommunale Behörden selbst entscheiden welche Maßnahmen sie weiterführen.

3.4.3 Wirkungen von Null-Emissionszonen

Umweltzonen und Null-Emissionszonen stellen ein Instrument dar, das die Elektromobilität im Rahmen von Nutzervorteilen fördern soll. Für Null-Emissionszonen gibt es derzeit bundesweit keine rechtliche Grundlage und keine praktikable Umsetzungsmöglichkeit. Eine Argumentation auf Grundlage des Zieles der Luftreinhaltung ist bedingt möglich, aber eine alternative Lösung könnte eine Fahrradzone mit Ausnahmen für elektrische Fahrzeuge sein.

Das „Weißbuch Verkehr“ der europäischen Kommission strebt als strategisches Ziel eine annähernd emissionsfreie Stadtlogistik bis 2030 an (Europäische Kommission 2011). Die Kommission erwartet, dass eine verstärkte Einführung emissionsfreier Innenstädte die Attraktivität von Elektrofahrzeugen deutlich steigern könnte. Möglicherweise könnten emissionsfreie Innenstädte auch ein Treiber für die Bündelung des Wirtschaftsverkehrs sein (City-Logistik-Konzepte). Denn dann könnten im Gegensatz zu heute große Diesel-Lkw nicht mehr bis in die Stadtzentren fahren, sondern nur noch (kleinere) batterieelektrische Lkw oder auch Lastenräder. So könnten sich Logistikzentren am Stadtrand etablieren, in denen auf die elektrischen Fahrzeuge umgeladen wird.

Gemäß Cui et al. (2021) können Umweltzonen den Umstieg von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor auf Nullemissionsfahrzeuge maßgeblich unterstützen. Mehrere Dutzend Städte weltweit, vor allem in Europa, haben angekündigt, in den kommenden zehn Jahren ZEZs oder Beinahe-ZEZs einzurichten. Abbildung 19 gibt eine Übersicht über Zufahrtsbeschränkungen im nördlichen Europa. Unterschieden wird in Zonen mit geringen Emissionen (LEZ Low Emission Zones bis zu einer vorgeschriebenen Emissionshöchstmenge) und Null-Emissionszonen (ZEZ Zero Emission Zones), sowie Städte mit City-Maut und Zufahrtsbeschränkungen bei starker Luftbelastung (Pollution Emergency). In Deutschland gibt es 58 Umweltzonen (Stand Februar 2018, Cyrys et al. 2018).

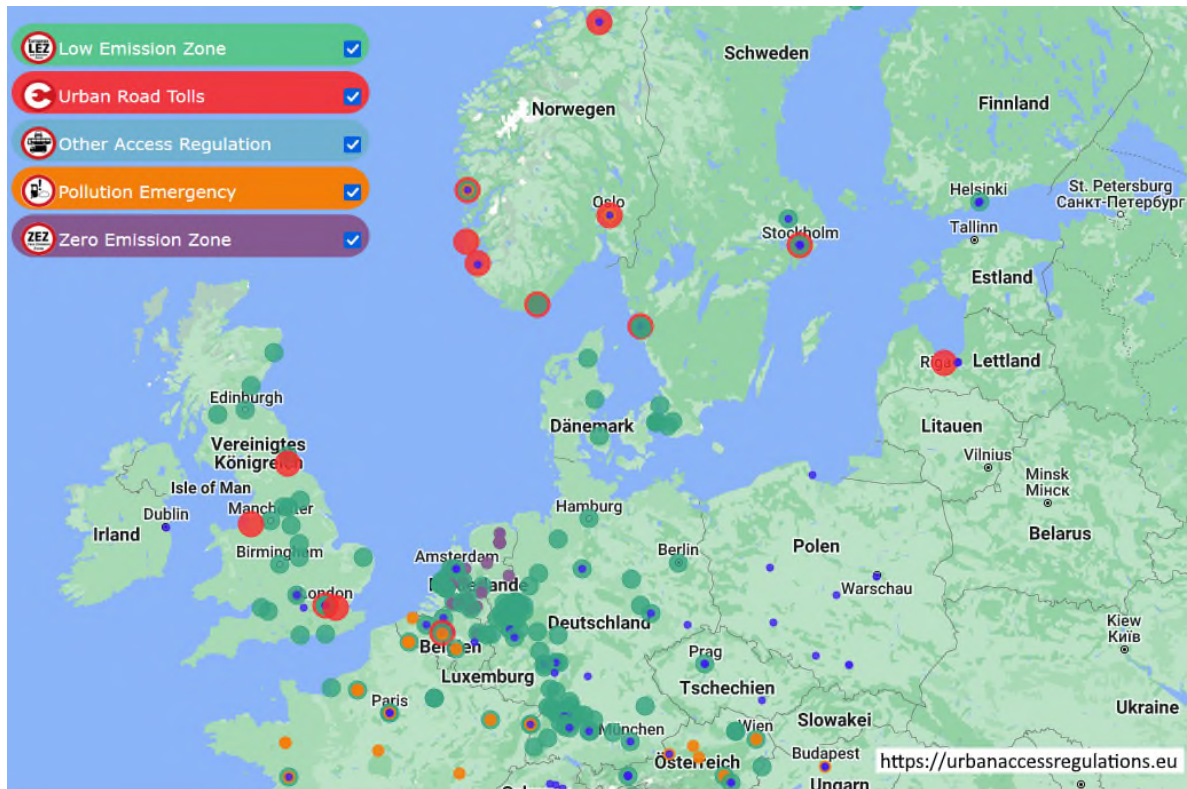


Abbildung 19: Zufahrtsbeschränkungen im nördlichen Europa

Die Londoner City-Maut (Congestion Charge) hat eine hohe Bekanntheit. Näheres dazu in Kapitel 3.1.1. Weniger bekannt ist, dass außerhalb der Innenstadt eine Ultra Low Emission Zone ULEZ liegt, die wiederum von einer Low Emission Zone LEZ umgeben wird. Die Mindeststandards der ULEZ sind dabei:

- Euro 3 für Motorräder, Mopeds, motorisierte Dreiräder und Vierradfahrzeuge
- Euro 4 (NO_x) für Benzin-Pkw, Kleintransporter, Kleinbusse und andere Spezialfahrzeuge
- Euro 6 (NO_x und PM) für Diesel-Pkw, Kleintransporter, Kleinbusse und andere Spezialfahrzeuge

Sechs Monate nach der Einführung waren die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs in der zentralen Zone (Innenstadt) um 4 % (9.800 Tonnen) niedriger als ohne die Regelung. Diese Verringerung der CO₂-Emissionen geht weit über die Auswirkungen der bestehenden Staugebührenregelung hinaus (Laing 2020, S. 30). London plant, die ULEZ ab dem 29. August 2023 auf alle Londoner Stadtbezirke auszuweiten.

Die aktuelle Umweltzone in Paris umfasst 79 Gemeinden des Großraums Paris, die 5,61 Millionen Einwohner haben. Sie gilt für alle Kategorien von Fahrzeugen innerhalb der Grenzen, die in Abbildung 20 grau dargestellt sind. Die Einfahrt in die Zone wird auf der Grundlage des Crit'Air Luftqualitätszertifikats gewährt, einer Plakette, die an der Windschutzscheibe des Fahrzeugs angebracht wird. Wie auch in London gelten in Paris schärfere Emissionsbestimmungen als im Umland. Es ist geplant weitere Gemeinden im Osten der Stadt in die Zonierung einzubeziehen.

3.4.4 Benutzervorteile durch Parkraummanagement

Eine weitere Maßnahme zur Förderung der Elektromobilität stellt das Parkraummanagement dar. Dieses soll durch die Bevorteilung von Elektrofahrzeugen in Form von geringeren Parkkosten, der Freigabe von Bewohnerparkplätzen und exklusiven Parkplätzen für Elektrofahrzeuge geschehen. Dadurch sollen Anreize für den Kauf von Elektrofahrzeugen geschaffen werden.

Ebenso wie im vorherigen Kapitel ist auch die Literaturlage zu diesem Thema sehr dünn und präsentiert teilweise widersprüchliche Ergebnisse. Eine Metastudie (Münzel et al. 2019) untersucht 13 Forschungsarbeiten hauptsächlich in den USA und stellt fest, dass kostenloses Aufladen oder Parken keine signifikante Auswirkung auf den Absatz von Elektromobilen hat. In Deutschland zeigen Daten aus verschiedenen Städten, die Elektrofahrzeuge mit verschiedenen Maßnahmen bevorzugen, dass deren dort Anteil höher ist. Allerdings gibt es auch widersprüchliche Ergebnisse beispielsweise aus Hamburg. Zudem können die hohen Anteile von EVs im Bestand auch durch andere Einflüsse begründet sein.

3.4.5 Sonderspuren für Fahrzeuge mit hohem Besetzungsgrad

Umweltstreifen sind Fahrstreifen auf einer Straße, die nur von privilegierten Kraftfahrzeugen genutzt werden dürfen, wie beispielsweise mehrfach besetzte Fahrzeuge oder emissionsarme Fahrzeuge. Die Maßnahme soll zu einer Verhaltensänderung bei Verkehrsteilnehmern führen, die sich ein privilegiertes Fahrzeug anschaffen, eine andere Route wählen oder den öffentlichen Verkehr nutzen, und so zu einer Verminderung von Fahrleistung, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen beitragen.

Eine in der Praxis häufiger vorkommende Variante sind Fahrspuren mit hohem Besetzungsgrad (HOV-Lanes for High Occupancy Vehicles), die nur für Fahrzeuge mit mindestens zwei Insassen zugänglich sind. Die oben schon erwähnte Literaturstudie (Münzel et al. 2019) untersuchte 13 Forschungen zu dem Thema mit Schwerpunkt USA. Es gibt einige Hinweise auf signifikante Wirkungen durch die Freigabe von HOV-Spuren für Elektrofahrzeuge auf die Verkaufszahlen von BEV und PHEV.

Wissenschaftliche Untersuchungen zu den Wirkungen der HOV-Spuren auf die Fahrleistungen haben unterschiedliche Ergebnisse erbracht, zwar kann teilweise eine Verminderung der Fahrzeugkilometer festgestellt werden, dabei steigt allerdings auf Grund von mehr Staus auf anderen Fahrspuren der Kraftstoffbedarf. Shewmake (2018) stellt keine eindeutige Wirkrichtung in Bezug auf die Fahrleistung fest. Generell ist zu erwarten, dass bei einer Auslastung von weniger als 50 % mit privilegierten Fahrzeugen, die Kapazität des Umweltstreifens nicht voll genutzt wird und die Auslastung auf dem anderen Fahrstreifen steigt (bei insgesamt 2 Fahrstreifen). Darüber hinaus reagiert der Verkehr mit Routenänderungen auf die Umweltstreifen, was die Fahrleistung erhöhen kann.

Diamond (2008) untersucht Regionen in den USA, in denen Hybrid-Fahrzeugen HOV Lanes nutzen dürfen. In Regionen, wo die HOV-Fahrstreifen die größten Zeiteinsparungen bewirken, ist der Anteil an Hybridfahrzeugen signifikant höher. Eine Ähnliche Studie von Tal & Nicholas (2014) untersucht die Auswirkungen von HOV-Spuren auf die Verkaufszahlen von Plug-In-Hybridfahrzeugen. Die Ergebnisse deuten zwar darauf hin, dass die Möglichkeit die HOV-Fahrspuren zu nutzen bei einigen Personengruppen dazu ausreichen kann, den Kauf eines Hybridfahrzeugs zu veranlassen. Dies gilt allerdings nur für Personen, die die ausgiebige Nutzung dieser Fahrspuren planen. Es wird angemerkt, dass eine bessere Datenbasis benötigt wird, um die genauen Auswirkungen verschiedener Fahrzeuge und Standorte zu quantifizieren.

Ein wichtiges Kriterium für die Nutzervorteile sind die Zeiteinsparungen. Die Zeiteinsparungen sind besonders hoch, wenn sich der Verkehr auf den verbleibenden Fahrspuren staut. Berger (2002) untersucht in der Stadt Linz die Auswirkungen einer Bevorzugung von HOVs durch die Nutzung einer Bus-Spur. Im morgendlichen Berufsverkehr können hohe Zeiteinsparungen von bis zu 24 Minuten auf der knapp 4 km langen Strecke erzielt werden. In ungestörtem Verkehr ist die Strecke in etwa 4-6 Minuten zu bewältigen. Ein Viertel der Fahrzeuge nutzt allerdings die HOV-Spur unrechtmäßig. Eine noch deutlich höhere Rate an Missachtung der Regeln bezüglich der HOV-Lane-Nutzung ist im US-Bundesstaat Tennessee zu beobachten, wo etwa 84 % die Fahrstreifen unberechtigt nutzen (Chimba & Camp, 2018).

Mithilfe der Bepreisung einer HOV-Fahrspur lässt sich quantifizieren, wie hoch die Zahlungsbereitschaft für eine schnellere und staufreie Fahrbahn ist. Dieser Preis liegt laut Janson & Levinson (2013) bei etwa 60–120 US-Dollar pro Stunde Zeiteinsparung. Dies liegt deutlich über dem Wert der durchschnittlichen Wertschätzung einer Zeitstunde, woraus geschlossen wird, dass Nutzer u.a. auch für die Zuverlässigkeit einer Strecke bereit sind, zusätzliche Aufschläge zu zahlen.

Boriboonsomsin und Barth (2007) untersuchen die Vorteile von HOV-Autobahnspuren im südlichen Kalifornien und stellen fest, dass bei Stauungen die Zeitvorteile über eine Minute pro Kilometer betragen (2,75 Minuten pro Meile). Fahrzeuge auf diesen Spuren verursachen auf HOV-Umweltspuren 35 % weniger CO₂ im Vergleich zu den anderen Fahrspuren. Ohne Stauungen sind die Geschwindigkeitsvorteile allerdings zu vernachlässigen, der Vorteil durch den höheren Besetzungsgrad besteht aber weiterhin.

Die Studie lässt allerdings außer Acht, dass mehr Emissionen durch die Stauungen auf den verbleibenden Fahrspuren entstehen. Eine ganzheitliche Untersuchung von Zhao (2017) kommt zu dem Schluss, dass HOV-Spuren für EVs nur einen minimalen Einfluss auf den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen haben. Die Autoren ergänzen die Aussagen durch eine spätere Studie (Zhao 2020) welche Erklärungen zu den Rebound Effekte liefert, die als Folge der Zeitvorteile von HOV-Spuren entstehen. Negative Wirkungen treten vor allem durch längere Fahrstrecken Strecken, zunehmende Zersiedlung, und größere Wohnflächen auf. Insgesamt haben die Umweltspuren einen höheren Energieverbrauch und damit höhere CO₂-Emissionen zur Folge. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass Straßennutzungsgebühren mehr zur Reduktion des Energieverbrauchs und der Zersiedelung beitragen als Umweltspuren. Die Studie kritisiert Partielle Gleichgewichtsmodelle, die die Auswirkungen von HOV-Fahrspuren in Bezug auf Energieverbrauch und CO₂-Emissionen überschätzen.

Javid et al. (2017) untersuchen ebenfalls die potenziell möglichen CO₂-Einsparungen von HOV-Lanes. Betrachtet werden in der Studie die Einsparpotenziale der verschiedenen US-Bundestaaten. Es wird festgestellt, dass in Staaten mit geringer Bevölkerungsdichte die Einsparungen vernachlässigbar sind, während in Staaten mit hoher Bevölkerungsdichte mögliche CO₂-Einsparungen von bis zu 4 % berechnet werden.

Xu et al. (2017) vergleichen die CO₂- und Schadstoffemissionen in Atlanta Georgia vor und nach der Einführung von HOV-Fahrspuren. Der Jahresvergleich zeigt, dass die Schadstoffemissionen anstiegen, während der Ausstoß an CO₂ gleichblieb. Wesentliche Vorteile sind dagegen die höhere Verlässlichkeit bei der Reiseplanung durch die HOV-Spuren.

3.4.6 Rebound Effekte

Ein genereller Rebound-Effekt von elektrischen Fahrzeugen auf die gefahrenen Fahrzeugkilometer kann durch Fallah et al. (2022) nicht nachgewiesen werden. Auch anhand deutscher Fahrzeughalter-Daten (Huwe & Gessner, 2020) ist dieser Effekt nicht signifikant nachweisbar.

Rudolph (2016) betrachtet anhand von Umfragen die Auswirkungen von Bevorteilungen elektrischer Fahrzeuge auf die Kaufwahrscheinlichkeit dieser. Es werden Subventionen, kostenloses Parken, höhere Benzinkosten und eine bessere Ladeinfrastruktur betrachtet. Dabei wird ein potenzieller Rebound-Effekt erkannt. Durch die Erhöhung der Attraktivität von ZEV kann sich auch das Mobilitätsverhalten von Gruppen mit sehr geringen Treibhausgasemissionen (Fußgänger, Radfahrer, ÖPNV) in Form von der Nutzung elektrischer Fahrzeuge verändern. Die Ergebnisse zeigen dabei, dass diese Personengruppen solche Subventionen am ehesten ausnutzen würden, was insgesamt zu mehr Fahrzeugen und einer schlechteren CO₂-Bilanz führen kann.

3.5 Differenzierung der Klimawirkungen

Die potenziellen Klimawirkungen von Bevorrechtigungen für die Elektromobilität werden aller Wahrscheinlichkeit nach durch den Raumtyp, die Stadtgröße und die Siedlungsstruktur mit beeinflusst. Die Gesamtzahl der Neuzulassungen von Elektromobilen ist in den städtischen Regionen Deutschlands am höchsten und in den ländlichen Regionen (mit wenigen Ausnahmen) am niedrigsten. Darüber hinaus korrelieren Umweltbewusstsein, öffentliche Ladeinfrastruktur, Heimladepotenzial, sowie wirtschaftlicher Wohlstand stark mit dem Zulassungsanteil der Elektrofahrzeuge (Wappelhorst et al. 2022).

Die Wirkungen der Bevorrechtigungen in Städten mit bereits heute geringem Parkraum oder restriktivem Parkraummanagement werden mit Sicherheit positiver auf den Markthochlauf der Elektromobilität ausfallen als in ländlichen Regionen. Allerdings existieren zu diesen Unterscheidungen noch keine Auswertungen in der Literatur.

Einige Regionen in Deutschland mit einem hohen Anteil an Zulassungen für Elektromobile haben einen Mix aus lokalen politischen Maßnahmen ergriffen. Wappelhorst et al. (2022) analysieren die wichtigsten politischen Maßnahmen in ausgewählten Regierungsbezirken mit den höchsten Anteil an Elektromobilen. Der Ausbau des regionalen öffentlichen Ladeinfrastrukturnetzes, sowie verschiedene lokale Formate von Bildungs-, Informations- und Sensibilisierungskampagnen haben wahrscheinlich dazu beigetragen.

4 Parkraummanagement

Dieses Kapitel untersucht, wie sich Maßnahmen des Parkraummanagements auf Verkehr und Klima auswirken. Zunächst werden die Problemlage und die Ziele des Parkraummanagements erläutert, bevor dessen Formen und gesetzliche Regelungen präsentiert werden. Es folgt ein Abschnitt über die Methoden und Indikatoren zur Messung der Wirkungen. Die modellmäßigen Berechnungen legen einen Schwerpunkt auf die Erkenntnisse aus Baden-Württemberg. Empirische Erkenntnisse zur Parkraumbewirtschaftung und zur Angebotssteuerung werden am Beispiel Wiens, Freiburgs und Oslos erläutert. Am Ende steht ein kurzer Abriss über Informations- und Leitsysteme und die räumlich differenzierten Klimawirkungen.

4.1 Formen des Parkraummanagements und gesetzliche Regelungen

4.1.1 Problemlage und Ziele des Parkraummanagements

Problemlage

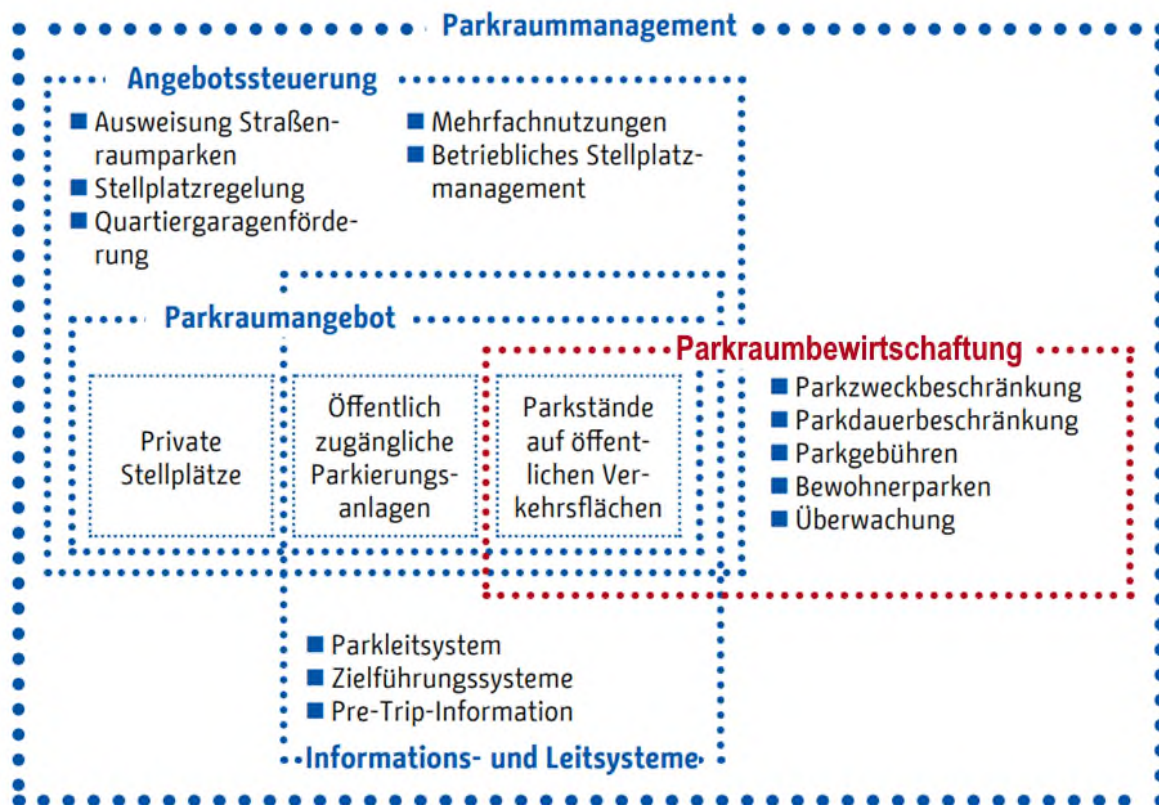
Insbesondere in Städten übersteigt die Nachfrage nach Parkraum das Angebot, dies wird durch die zunehmende Verstädterung verstärkt (United Nations 2018). Fahrzeuge werden durchschnittlich nur eine Stunde am Tag genutzt und stehen die verbleibende Zeit und benötigen dafür Parkfläche (Umweltbundesamt 2022; Pressl und Rye 2020). Pro Stellplatz werden circa 2,7 m * 5 m benötigt, was 13,5 m² entspricht und somit in Summe über alle Stellplätze sehr viel Raum einnimmt, welcher nicht für andere Zwecke genutzt werden kann und durch seine Versiegelung zu einem Hitzestau im Sommer beiträgt. Das Beispiel Graz zeigt, wie unverhältnismäßig dieser Flächenverbrauch ist, da von der Raumnutzung des ruhenden Verkehrs 92 % auf den Autoverkehr entfällt, wobei private Stellplätze nicht mitgezählt werden. Im Vergleich beträgt der Anteil des Autos am Modal Split nur 47 % (Difu 2015).

Ziele des Parkraummanagements

„Der übergeordnete Sammelbegriff Parkraummanagement (PRM) bezeichnet die zeitliche und räumliche Beeinflussung der Parkraumnutzung durch bauliche, organisatorische und verkehrsrechtliche Maßnahmen unter Berücksichtigung der lokalen Randbedingungen“ (FIS 2003c) und durch die damit verbundene Erhebung von Gebühren. Durch die Einführung und Steuerung der in Kapitel 4.1.2 aufgeführten Maßnahmen, zielt PRM darauf ab Parkplätze optimal auszulasten und Bewohnern Zugang zu Parkraum zu ermöglichen, dabei aber auch andere konkurrierende Gruppen wie Besucher, Beschäftigte, Kunden, Dienstleister und Lieferanten zu berücksichtigen. Damit soll die Suche nach Parkplätzen erleichtert werden, Falschparken und Parksuchverkehr reduziert werden, Wohn- und Aufenthaltsqualität verbessert werden (Landeshauptstadt Stuttgart 2023) und CO₂ eingespart werden. Veränderte Bedingungen der Parkraumsituation wirken auf Verkehrsentscheidungen wie die Wahl des Verkehrsträgers, denn höhere Parkgebühren und längere Suchzeiten nach Stellplätzen senken die Attraktivität des Pkw, so kann Parkraummanagement dazu beitragen Autoverkehr zu reduzieren und THG-Emissionen einzusparen.

4.1.2 Formen des Parkraummanagements

Parkraummanagement umfasst, wie in Abbildung 21 dargestellt, die Steuerung des Parkangebots, die Bewirtschaftung von Parkflächen und die Nutzung von Informations- und Leitsystemen (Senatsverwaltung für Umwelt und Verkehr und Klimaschutz 2020).



Quelle: Senatsverwaltung für Umwelt und Verkehr und Klimaschutz 2020

Abbildung 21: Ausgestaltungsformen des Parkraummanagements

4.1.2.1 Formen der Parkraumbewirtschaftung

Die Parkraumbewirtschaftung betrifft dabei Parkraum des öffentlichen Raums, der durch Bepreisung, Dauerbeschränkungen, Nutzenzuordnung für Bewohner, e-Fahrzeuge oder Sharing-Fahrzeuge, sowie Kontrollen zur Durchsetzung dieser Maßnahmen effizienter genutzt werden soll.

Jede Fahrt beginnt und endet an einem Parkplatz, somit sind dabei entstehende Kosten bei jeder Verkehrsentscheidung miteinzubeziehen. Laut Feeney (1989) erzielt eine Erhöhung der Parkgebühren eine fünf Mal höhere Wirkung auf die Modalwahl als die fahrleistungsbezogenen Autokosten. Und auch Galbraith und Hensher (1982) ermittelten in einer Studie in der Region Sydney, dass die out-of-vehicle costs in Bezug auf Geld und Zeit, das heißt Zu- und Abgangszeiten sowie Parkgebühren, einen höheren Einfluss auf die Wahl des Verkehrsmittels haben als Kosten während der Fahrt wie der Sprit- oder ÖPNV-Preis. Das zeigt das die Einflussnahme auf Parkraumbewirtschaftung nicht unerheblich für die Wahl des Verkehrsträgers ist und somit einen Teil zur Entwicklung nachhaltiger Mobilität beitragen kann.

Das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg IFEU (2023) berechnete die monatlich anfallenden Kosten für Parkplätze. Differenziert nach Parkplatztyp ergaben sich in Metropolen⁴ durchschnittliche monatliche Kosten von 131 bis 133 € je Stellplatz pro Monat für Straßenparkstände und Parkhäuser und 210 bis 229 € pro Stellplatz und Monat in Tiefgaragen und auf Parkplätzen. Die Kosten beinhalten neben den Errichtungskosten, Unterhaltskosten, Flächenwert und externe Kosten. Die höheren Kosten für Tiefgaragenplätze ergeben sich insbesondere durch die Baukosten im Tiefbau, bei Parkplätzen entstehen diese durch den Flächenwert. Diese Kosten können nur zu 11 % gedeckt werden, unter der Annahme eines Bewirtschaftungsregimes, in dem 50 % der öffentlichen Parkstände für Bewohnerparken, 18 % mit Parkschein, 7 % nach dem Mischprinzip genutzt werden und 25 % unbewirtschaftet sind, bei Gebühren von 1,50 € pro Stunde und 30,70 € pro Jahr für Bewohnerparken. Allerdings ist auf Grund der hohen Anforderungen Bewohnerparken nur in Ausnahmefällen möglich und daher ein geringerer Anteil realistisch.

Das Ergebnis: "Die jährlichen Kosten betragen für einen bewirtschafteten Parkplatz mindestens 1.000 €. In Metropolen können die jährlichen Kosten für einen Straßenparkstand in Einzelfällen bis zu 4.000 € betragen". Wie die Berechnungen zeigen, wird Parkraum deutlich zu günstig angeboten, die Gebühren decken nicht die den Kommunen anfallende Kosten und spiegeln nicht den Wert der verbrauchten Fläche wider. Auch Shoup (2021) macht die Unterbewertung von Parkraum für die zu hohe Auslastung von Straßenraumparkplätzen und den hohen Parksuchverkehr verantwortlich.

Die Maßnahmen der Parkraumbewirtschaftung lassen sich wie folgt unterteilen:

- a) Eine Möglichkeit der Parkraumbewirtschaftung ist die Erhebung von **Gebühren**, das bedeutet das Nutzer für das Abstellen ihres Fahrzeuges eine Gebühr entrichten müssen, durch das Ziehen eines Parkscheins an den dafür errichteten Automaten oder per online Überweisung mittels einer Park-App über das Smartphone. Eine weitere Möglichkeit ist die Beantragung von Dauerparkscheinen oder Parkvignetten, die monatlich oder jährlich online oder im Bürgerbüro erworben werden können, damit kann ein Fahrzeug auf öffentlichen Parkflächen geparkt werden, die Abgrenzung der zeitlichen und räumlichen Gültigkeit und die Festlegung ob mehr als ein Fahrzeug die Vignette nutzen kann, obliegt der Stadt. Die Gebühr ist abhängig von der Parkdauer und kann nach Parkzonen, Wochentag oder Tageszeit differenziert werden. Bei der Betrachtung der Auswirkungen ist zu beachten ob die Bewirtschaftungszonen neu eingeführt oder ausgeweitet wurden in Gebiete, in denen Parken zuvor kostenlos möglich war oder ob in bereits bewirtschafteten Parkgebieten die Gebühren angehoben werden. Parkkosten wirken sich auf die Pkw-Nutzerkosten aus, bei steigenden Preisen sinkt die Verkehrsnachfrage und die Attraktivität das Auto zu wählen, wodurch die Pkw-Nutzung zurückgeht und indirekt auch der Pkw-Besitz beeinflusst werden kann (Schlaich 2023, S.58).
- b) Eine Einschränkung der Parkdauer durch die Einrichtung von **Kurzparkzeitonen** ist eine weitere Ausgestaltungsmöglichkeit. Dabei ist es den Parkenden nur für eine begrenzte Dauer erlaubt ihr Fahrzeug zu parken. Dies kann mittels einer Parkscheibe nachgewiesen werden oder in Kombination mit einer Gebührenerhebung über den Parkschein.
- c) Wenn verschiedene Nutzergruppen um den Parkraum konkurrieren, können bestimmte Gruppen durch eine **Zweckzuweisung** des Parkraums angesprochen werden. Dazu zählt das **Bewohnerparken**, dabei haben Bewohner die Möglichkeit einen Bewohnerparkschein zu erwerben, der es erlaubt ohne Zeitbegrenzung oder zusätzliche Gebühren innerhalb des Wohngebietes zu parken. Dabei gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten, zu Regelung des Bewohnerparkens. Eine Option ist das Mischprinzip, bei dem jeder die Möglichkeit hat, zu

⁴ Metropole Kategorie 1 nach RegioStaR 5, zusammengefasster regionalstatistischer Gemeindetyp

parken, aber Nichtbewohner Gebühren zahlen müssen oder an zeitlichen Beschränkungen gebunden sind. Eine andere Möglichkeit ist, dass Bewohner exklusive Parkberechtigungen erhalten und damit andere Verkehrsteilnehmer vom Parken ausgeschlossen werden. Zur Wahrung des Gemeingebrauchs müssen jedoch tagsüber von 9 Uhr bis 18 Uhr mindestens 50 % und ansonsten mindestens 25 % der Parkflächen weiterhin der Allgemeinheit zur Verfügung stehen (VwV-StVO zu § 45 StVO Rn. 32). Da 80 % der Zeit das Auto am Wohnort abgestellt wird, ist die Regelung des Bewohnerparkens eine wichtige Maßnahme (Pressl und Rye 2020). Die Bewohnerparkgebühren lassen sich aus Sicht des Fahrzeughalters den Pkw-Besitzkosten zurechnen, eine Erhöhung der Preise kann somit auf die Anschaffungentscheidung wirken oder dazu führen das Fahrzeug abzumelden (Schlaich 2023; S.58). Eine weitere Form der Zweckzuweisung ist es Parkplätze speziell für **Carsharing-Fahrzeuge oder Elektrofahrzeuge** zu reservieren oder von der Gebührenpflicht des Zeitparkens zu befreien. Dadurch wird angestrebt die Attraktivität von Carsharing zu erhöhen, sodass mehr Menschen diese alternative Form der Mobilität nutzen und den Umstieg von Verbrennungsmotoren zu umweltfreundlichen e-Fahrzeugen zu fördern. Darüber hinaus gibt es die -allerdings umstrittene - Option, dass Handwerker und soziale Dienste bei der Ausübung ihrer Arbeit Parkerleichterungen erhalten könnten.

- d) Außerdem gehört auch die **Kontrolle** und Durchsetzung der Maßnahmen zur Parkraumbewirtschaftung zu den Maßnahmen der Parkraumbewirtschaftung. Durch die Kontrollen wird überprüft, ob die Parkenden sich an die eingeführten Maßnahmen halten und bei Verstößen Bußgelder verhängt, dadurch soll sichergestellt werden, dass die zuvor genannten Maßnahmen wirken. Dabei ist die Höhe der Gebühren relevant, wenn die Gebühren für Falschparken nicht deutlich höher sind als die Parkgebühren kann dies dazu führen, dass Parkende ihr Fahrzeug vermehrt ohne gültigen Parkschein abstellen.

4.1.2.2 Formen der Angebotssteuerung

Neben öffentlichen Parkplätzen gibt es weiteren Parkraum in privatem Besitz, der öffentlich zugänglich ist, wie privat betriebene Parkhäuser oder Parkflächen von Supermärkten oder Einkaufszentren, für Entscheidungen bezüglich derer Bewirtschaftung sind die jeweiligen Eigentümer zuständig. Im Rahmen der Angebotssteuerung, wird die Bereitstellung von Parkraum beeinflusst, durch die Reduktion von Parkraum, die Förderung von Quartiersgaragen. Durch die Anpassungen der Stellplatzregelungen, welche festlegen wie viel Parkflächen bei Bauvorhaben eingeplant werden müssen oder durch Anreize und Beratung für Betriebe Mobilitätsmanagement einzuführen, können zusätzlich nichtöffentliche Verkehrsflächen mit einbezogen werden.

Im Bereich der Angebotssteuerung gibt es folgende Maßnahmen:

- a) 66 % der Arbeitswege und dienstlichen Fahrten werden mit dem MIV zurückgelegt, wodurch 22,4 % der klimarelevanten Emissionen des Personenverkehrs entstehen (Agora Verkehrswende 2022, BMDV 2017). Daher bietet das **betriebliche Parkraummanagement** Potenzial den motorisierten Individualverkehr zu beeinflussen, ebenso wie Parkraummaßnahmen für **Freizeit- oder Einkaufszentren**.
- b) **Zentralisierung**: Insbesondere on-street Parkplätze beeinflussen das Stadtbild und führen zu Parksuchverkehr. Durch das Errichten von Quartiersgaragen oder Mobility Hubs kann Parkraum effizienter genutzt werden und die Flächen in der Stadt können sicherer und lebenswerter gestaltet werden. Park and Ride Plätze am Stadtrand und an S-Bahn-Stationen können den Verkehr in der Innenstadt reduzieren, Stauungen vermeiden und die letzten Kilometer der Fahrt auf nachhaltige Verkehrsträger verlagern. Insbesondere bei Mobility

Hubs soll die Intermodalität gefördert werden. Quartiersgaragen sind Parkierungseinrichtungen, in denen Bewohner des Quartiers Stellplätze anmieten können. In Köln wurde die Quartiersgarage Stellwerk 60 errichtet, in dem angrenzenden Wohngebiet ist Autoverkehr und das Parken von Autos verboten, stattdessen wird der Raum für Fuß- und Radverkehr und für Verweilräume für die Bewohner genutzt. Mit dem Kauf eines Hauses in dem Viertel sind die Eigentümer rechtlich daran gebunden, keinen Parkraum auf ihrem Grundstück zu schaffen. Die Quartiersgarage ist an ÖPNV angebunden und beheimatet einen Anbieter von Carsharing-Fahrzeugen.

- c) **Reduktion** von Straßenparkraum. Durch das Entfernen von Stellplätzen müssen Autofahrer sich Alternativen suchen, der Umstieg auf einen anderen Parkplatz ist mit längeren Suchzeiten oder Zugangswegen verbunden. Der dadurch zusätzlich entstehende Zeitaufwand senkt die Attraktivität der Pkw-Nutzung und soll Autofahrer dazu anregen auf andere Modi umzusteigen.
- d) **Mehrfachnutzung:** Der Auslastungsgrad von Supermarktparkplätzen liegt während der Öffnungszeiten durchschnittlich zwischen 25 und 50 %, außerhalb der Öffnungszeiten bleiben sie ungenutzt. Durch das Bereitstellen der Parkfläche für mehrere Nutzergruppen kann die Parkfläche effektiver genutzt werden (Uttke und Reicher 2006).
- e) **Stellplatzregelungen:** Das Bauordnungsrecht ist in der Bauordnung der Länder geregelt und soll die öffentliche Sicherheit und Ordnung gewährleisten, es regelt Vorschriften über Errichtung, Änderung und Abbruch von Parkeinrichtungen, darunter auch den Umgang mit der Stellplatzpflicht für Pkw und Fahrräder. Im Bauplanungsrecht werden Flächennutzungspläne und Bebauungspläne entwickelt. Für die Planung ist die jeweilige Kommune zuständig. Es regelt die Schaffung, die Anordnung und den Rückbau von Stellplätzen und kann somit zur Revitalisierung der Innenstädte beitragen. In der kommunalen Stellplatzverordnung kann, unter Beachtung der Regelungen der Landesbauordnung, die Stellplatzsatzung ausgestaltet werden. Während es bis Ende der 90er Jahre üblich war, Bauherren dazu zu verpflichten eine Mindestanzahl von Stellplätzen zu schaffen, um autofreundliche Städte zu gestalten, können auch Stellplatzbegrenzungen in der Satzung vorgeschrieben werden (FIS 2010). Eine Ablösevereinbarung gilt in BW nicht für notwendige Kfz-Stellplätze oder Garagen von Wohnungen. Eine Ablösezahlung ist jedoch in Ausnahmefällen möglich, wenn die Kfz-Stellplätze oder Garagen nicht oder nur unter großen Schwierigkeiten hergestellt werden können (§ 37 Abs. 6 LBO).

4.1.2.3 Informations- und Leitsysteme

Durch Informations- und Leitsysteme können Verkehrsteilnehmer gezielter zu öffentlichen und öffentlich zugänglichen Parkflächen geleitet werden und die Auslastung des Parkraums harmonisiert werden. Dieses steuernde Instrument soll dazu beitragen Parksuchverkehr zu reduzieren. Voraussetzung für den Erfolg von Informations- und Leitsystemen sind eine ausreichende Stellplatzkapazität, vollständige Einbeziehung der öffentlich zugänglichen Parkstände und die Attraktivität der Parkplätze (FIS 2003b).

Die Verkehrsteilnehmer können kollektive Parkinformation über statische oder dynamische Systeme vermittelt bekommen. Statische Systeme, leiten zum Standort der Parkierungseinrichtung. Dies ist sinnvoll für Anlagen die häufig noch Kapazitäten frei oder keine Alternativen in der Nähe haben und richten sich vornehmlich an Ortsunkundige, um bessere Orientierung zu schaffen. Dynamische Parkleitsysteme können mit Hilfe elektronischer Beschilderung in der Stadt Informationen über den Belegungsstand angeben und Autofahrer frühzeitig über die Auslastung informieren und

kontinuierlich und routengebündelt zu freien Stellplätzen leiten. Innerhalb von Parkeinrichtungen können durch Beleuchtung freie Stellplätze schneller sichtbar gemacht werden.

Im Zuge der Digitalisierung gewinnt auch die Nutzung von Smartphone Applikationen im Bereich Verkehr an Relevanz, dabei spricht man auch von Smart Mobility. Mit Hilfe solcher Apps ist es den Nutzern möglich Stellplätze zu reservieren, online zu bezahlen und Details über den Bewirtschaftungszeitraum, die Parkgebühren, die Verfügbarkeit von Ladesäulen, den Stellplatztyp oder die Auslastung einzusehen. Außerdem bieten einige Apps die Möglichkeit, dass Privatpersonen oder Unternehmen gegen eine Provision ihre Stellplätze anbieten können, dadurch kann neben dem öffentlichen Raum weitere Flächen zugänglich gemacht werden und effizienter genutzt werden (Turo 2019).

Wenn die Belegungsdaten online zugänglich sind, können individuelle Informationen bereitgestellt werden. Durch Integration der Daten in das Navigationssystem oder eine Smart-Mobility-App, können Autofahrer direkt zu freien Stellplätzen navigiert werden. Außerdem können schon vor Beginn der Fahrt Preise, Fahrzeiten, Auslegungsraten für verschiedene Verkehrsmittel im Vergleich prognostiziert werden. Um neben statischen Informationen auch dynamische Informationen über eine App anzuzeigen, bedarf es einer aufwendigen Konzeption, Datenaufbereitung und Datenübertragung (FIS 2003a).

4.1.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen und Akteure

Um Parkraum beeinflussen zu können ist es vorab interessant zu wissen bei wem die Entscheidungsgewalt liegt, und welche Akteure beteiligt sind, daher behandelt dieser Abschnitt die Zuständigkeit von Bund, Ländern, Kommunen und privaten Akteuren und die gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland.

Der Bund hat in § 6a StVG-Regelungen zum Thema Gebühren auf öffentlichen Straßen und Plätzen festgelegt. Bewohnerparkausweise dürfen demnach in städtischen Quartieren mit erheblichem Parkraumangel ausgestellt werden. Dies impliziert auch einen Mangel an privaten Stellflächen und öffentlichen Parkmöglichkeiten in fußläufiger Entfernung. Daraus folgt, dass Bewohnerparken nicht immer flächendeckend eingeführt werden kann. Da sich im Gesetz keine Definition findet, liegt der Schwellenwert für eine hohe Auslastung je nach Kommune zwischen 80 -100 %. Der Nachweis des Parkdrucks erfolgt in der Regel durch Studien externer Planungsbüros, die ihre Berechnungen auf einen Zeitraum von 12 Monaten beziehen. Nach derzeitiger Rechtsauslegung bedeutet eine flächendeckende Parkraumbewirtschaftung auch das flächendeckende Aufstellen von Parkscheinautomaten, welches für viele Kommunen finanziell und personell für nicht leistbar ist.

Neben den Gebühren für den Verwaltungsaufwand für das Ausstellen eines Parkausweises für Bewohner in Höhe von 10,20 € bis 30,70 €, (Anlage 1 Nr.265 zu § 1 GebOSt) kann seit Juni 2020 in der Gebührenordnung zusätzlich „die Bedeutung der Parkmöglichkeiten, deren wirtschaftlicher Wert oder der sonstige Nutzen der Parkmöglichkeiten für die Bewohner angemessen berücksichtigt werden.“ (§ 6a Abs. 5a S.3 StVG) Der Bund schreibt für die Höhe der Gebühren für Bewohnerparken keinen Höchstbetrag vor und ermächtigt die Länder die Gebührenhöhe oder einen Höchstsatz festzulegen, welche die Zuständigkeit an die Kommunen übertragen können. Die Gebührenhöhe kann sich nach den entstehenden Kosten, dem Marktpreis oder dem Bodenrichtwert orientieren und kann differenziert werden nach der Lage der Bewohnerparkzone, der Fahrzeuggröße, der Erschließungsqualität des ÖPNV, der Anzahl der Fahrzeuge pro Halter oder Haushalt oder bei Vorliegen einer Parkerleichterung für schwerbehinderte Menschen (Zukunftsnetz Mobilität NRW 2022).

Nicht nur für Bewohner städtischer Quartiere können Gebühren erhoben werden, Gemeinden können Parkraum bewirtschaften, wobei sich die Gebühren nach der Gebührenordnung richten müssen. Die Kommunen haben dabei einen sehr weiten Ermessungs- und Gestaltungsspielraum.

Rahmen des Äquivalenzprinzips und des Gleichheitsgrundsatzes. Für die Bewirtschaftung von Ortsdurchfahrten sind die Gemeinden zuständig, im Übrigen die Träger der Straßenbaulast. Die Gebührenordnung wird von der Landesregierung oder den von dieser per Rechtsverordnung Ermächtigten erlassen. Darin kann auch ein Höchstsatz festgelegt werden. Wenn Gebühren für das Parken erhoben werden sollen, muss dies begründet werden können, da öffentlicher Verkehrsraum nach §13 StrG dem Gemeingebrauch zusteht. Dafür muss ein legitimes verkehrliches Ziel, wie die Reduktion von Parkdruck konkurrierender Nutzergruppen oder der Belastung mit Lärm und Abgasen für Bewohner angestrebt werden, dessen Erreichung durch die Einführung von Parkraumbewirtschaftung gefördert wird. (Fischer 2022). Parkgebühren für das Zeitparken werden grundsätzlich und vollständig zur freien Disposition der Kommunen überlassen. Da die Erhebung von Gebühren an geringere Voraussetzungen geknüpft ist als das Bewohnerparken, kann die Einführung von Dauerparkausweisen eine Alternative für Kommunen darstellen, die diesen größere Spielräume bieten.

Das Land Baden-Württemberg ermächtigt die Gemeinden, welche als örtliche und untere Straßenverkehrsbehörden fungieren, die Gebührenordnungen für die Ausstellung von Bewohnerparkausweisen auszugestalten. Für das Parken auf öffentlichen Wegen und Plätzen werden bei Zuständigkeit die Gemeinden und Landkreise ermächtigt die Gebührenordnung als Rechtsverordnung auszugestalten. Parken im öffentlichen Raum ist erlaubt, sofern es kein explizites Verbot gibt. Parkverbote oder die Abschaffung von Parkplätzen muss gerechtfertigt sein. Ist ein Parkplatz entbehrlich oder liegen überwiegende Gründe des Allgemeinwohls vor, kann dieser nach § 7 StrG BW eingezogen werden. Mögliche Gründe, die dafür angeführt werden können, sind eine bestehende Gefahrenlage, das Schaffen von Sicherheit, die Ordnung des Verkehrs oder der Schutz der Wohnbevölkerung vor Lärm und Abgasen. Weitere Ausnahmen gibt es für die Errichtung von Fahrradstraßen, -zonen und -schutzstreifen oder für die Bevorrechtigung von Carsharing (§45 Abs. 1h StVO) oder e-Fahrzeugen (§45 Abs 1e StVO). Die Zuständigkeit liegt bei den Straßenverkehrsbehörden, diese „ordnen die Parkmöglichkeiten für Bewohner, die Kennzeichnung von Fußgängerbereichen, verkehrsberuhigten Bereichen und Maßnahmen zum Schutze der Bevölkerung vor Lärm und Abgasen oder zur Unterstützung einer geordneten städtebaulichen Entwicklung im Einvernehmen mit der Gemeinde an“ (§45 Abs. 1b StVO). Mehr Spielraum zur Umgestaltung bietet die Entwidmung oder Umwidmung von öffentlichen Straßen aus Gründen des Allgemeinwohls oder der städtebaulichen Entwicklung; zulässig bei Vorlage eines kommunalen Verkehrskonzeptes (Rohs und Flore 2021). Für elektrische Fahrzeuge oder Carsharing-Fahrzeuge können die Parkgebühren reduziert oder sie können von diesen befreit werden (ParkGebVO § 2 Abs. 2).

Der Anteil privater Stellplätze ist schwer zu messen und es wird von einer hohen Dunkelziffer ausgegangen. Der Anteil des privaten Parkraums wird auf 80 % der gesamten Parkfläche geschätzt (Blees 2021). In von Parkdruck betroffenen Regionen schätzt M-Five (2022), dass 31-39 % auf öffentlichem Grund parken. Da der private Parkraum den Großteil ausmacht, ist es entscheidend diesen im Rahmen des Parkraummanagements miteinzubeziehen zum Beispiel durch Anreize für Arbeitgeber oder Händler, Parkraum zu verringern oder über eine Anpassung der Bauverordnung, die vorschreibt wie viele Stellplätze bei der Errichtung von Gebäuden geschaffen werden müssen.

Weitere Möglichkeiten der Anreizsetzung sind Förderprogramme, zum Beispiel gibt es bereits eine Förderung für Quartiersgaragen vom Land Baden-Württemberg (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg 2022).

4.1.4 Zielgruppen und Wegezwecke

Parkfläche wird für verschiedene Zwecke gebraucht, entweder für Bewohner und Besucher in Wohnvierteln oder für Pendler an ihrem Arbeitsplatz an der Uni und an Schulen oder für den Einkauf an Supermärkten, Einkaufszentren oder der Innenstadt oder für Freizeitwecke, wie Sport, Kultur oder weitere Dienstleistungen.

Die Tabelle 6 zeigt die Relevanz verschiedener Maßnahmen auf ausgewählte Zielgruppen. Die Auswirkung wird dabei wie folgt unterschieden:

- (-) - (starke) Einschränkung durch Preiserhöhung oder Zeitbeschränkung oder **Ausschluss**

+ (+) (etwas) verbesserte Bedingungen

Tabelle 6: Relevanz verschiedener Parkraummanagementmaßnahmen auf ausgewählte Zielgruppen

Maßnahme	Bewohner	Pendler	Freizeit	Einkauf
Bewirtschaftung				
Bewohnerparken	+ -	(-)	(-)	(-)
Zeitparken	+	-	-	-
Kurzparkzonen	+	-	+ -	+ -
Angebotssteuerung				
Betrieblich		+ -		
Park and Ride		+	+	+
Quartiersgaragen	+ -	-	-	-
Reduktion	-	-	-	-
Informations- und Leitsysteme	+	+	+	+

Die Einführung von Bewohnerparken kommt dann in Frage, wenn verschiedene Gruppen um den Parkraum konkurrieren. Um es Bewohnern zu erleichtern in der Nähe ihres Wohnortes zu Parken, müssen Bewohner eine Gebühr zahlen. Bei besonders hohem Parkdruck kann der Parkraum anteilig exklusiv für Bewohner bereitgestellt werden, wodurch andere Nutzergruppen eingeschränkt werden. Höhere Gebühren der Parktickets wirkt sich insbesondere auf Pendlerverkehr aus, da für das Parken am Arbeitsplatz die Parkdauer und die Frequenz besonders hoch ist. Durch die langen Parkdauern werden Pendler auch am stärksten von Kurzparkzonen beeinflusst, da für sie das Parken dort nicht mehr möglich ist und auf Alternativen bezüglich des Parkplatzes oder des Verkehrsmittels umgestiegen werden muss.

Im Folgenden, Kapitel 4.2 werden Indikatoren erläutert die spezifisch für das Parkraummanagement sind und anschließend wird ein Überblick über die Maßnahmen gegeben, welche bereits in anderen Regionen ausgeführt wurden oder zu welchen, modellmäßige Berechnungen durchgeführt wurden. Verschiedene Beispiele zu den Maßnahmen und ihren Auswirkungen der zuvor genannten Kategorien werden in Kapitel 4.3. für modellmäßige Berechnungen und in Kapitel 4.4 für empirische Erkenntnisse ausführlich dargestellt. Kapitel 4.5 beschreibt darauf unterschiedliche Auswirkungen differenziert nach Stadttypen.

4.2 Methoden und Indikatoren zur Messung der Wirkungen

Veränderte Parkkonditionen können verschiedene Auswirkungen haben, Nutzer können die Fahrt absagen, zu einer anderen Zeit parken, oder mit Veränderung der Parkdauer, des Verkehrsträgers oder des Ziels reagieren (Feeney 1989). Dabei spielt die Nutzergruppe eine Rolle, beziehungsweise ihr Wegeziel, da die verschiedenen Gruppen unterschiedlich auf die Maßnahmen reagieren können. Beispielsweise ist es bei dem Weg zur Arbeit keine Option die Zeit, die Dauer oder das Ziel zu verändern oder die Fahrt abzusagen. Preiserhöhungen und Stellplatzreduktion wirken als Push-Instrument⁵, denn durch die höhere finanzielle und zeitliche Belastung beim Parken wird die Nutzung und der Besitz eines Pkws unattraktiver und der Umstieg auf andere Modi, wie ÖPNV oder Radverkehr relativ begünstigt (Maaß et al. 2016). Um den Umstieg auf nachhaltige Verkehrsmittel und somit die Verkehrswende zu unterstützen ist es daher wichtig neben den Push-Instrumenten auch Pull-Instrumente einzuführen. Wie im vorherigen Kapitel schon behandelt, kann im Rahmen des Parkraummanagements die Begünstigung von e-Fahrzeugen oder Carsharing-Fahrzeugen bezüglich Parkgebühren oder Parkdauern beim Zeitparken als Pull-Instrument wirken. Eine weitere Pull-Wirkung ist der mögliche Ausbau alternativer Verkehrsmittel, der durch Parkgebühren mitfinanziert werden kann.

Des Weiteren ist zu beachten das Rebound Effekte auftreten können und die Wirkung einzelner Maßnahmen abmildern können. Dieser Effekt kann auftreten, wenn durch Parkraummaßnahmen eine geringere Auslastung des Parkraums geschaffen wird, was wiederum dazu anregen kann das Auto zu nutzen da Stellplätze leichter zu finden sind (M-Five 2022). Ein weiterer Rebound Effekt ist, dass durch Maßnahmen in der Innenstadt und innenstadtnahen Bereichen, Autofahrer längere Strecken zurücklegen, um kostenlose Parkplätze zu erreichen oder andere Ziele in benachbarten Städten gewählt werden, wodurch wiederum mehr Verkehr erzeugt wird (Widmer 2004).

Indikatoren für Parkraumbewirtschaftung

Ein typischer Indikator bei Einführung einer Gebührenerhöhung, ist die Veränderung des Modal Splits, während Bewohnerparken sich auf den Motorisierungsgrad auswirkt (Schlaich 2023; S.58). Entscheidungen wie die Anschaffung oder Abschaffung eines Fahrzeuges sind langfristiger Natur und von vielen Faktoren abhängig und daher schwierig zu messen. Durch die Beschränkungen der Parkdauer wird Dauerparken verhindert, dadurch kann die Auslastung des Parkraums verringert werden, wodurch die Stellplätze effizienter von verschiedenen Nutzern verwendet werden können, und Parksuchzeit verringert werden kann. Allerdings können Kurzparkzonen auch dazu führen, dass Fahrzeuge außerhalb der Zone geparkt werden können oder häufiger der Parkplatz gewechselt wird, wodurch wiederum zusätzlicher Verkehr entsteht. Verbesserte Parkraumkontrollen helfen dabei die anderen Maßnahmen durchzusetzen, Falschparken zu reduzieren und somit auch die Verkehrssicherheit zu verbessern.

Indikatoren für Angebotssteuerung

⁵ Zu Push und Pull, S., Kapitel 5.1.1

Der Flächenverbrauch durch den ruhenden Verkehr kann reduziert werden, indem die Parkflächen in Parkhäusern oder Tiefgaragen auf mehreren Etagen verteilt werden. Die Zentralisierung an einem Ort führt durch die strukturierte Anordnung und die Nähe der Stellplätze zu verringertem Parksuchverkehr. Durch die Verlagerung der Parkplätze weg von den on-street Plätzen, können Wohnviertel schöner und sicherer gestaltet werden. Schwierigkeiten können sich dadurch ergeben, dass in bestehenden Wohngebieten kein Platz zum Bau einer Quartiersgarage vorhanden oder durch geringe Akzeptanz der Bewohner, da diese daran gewöhnt sind vor der Haustür zu parken. Außerdem ist der Bau von Tiefgaragen oder Parkhäusern sehr kostenintensiv und energieaufwendig.

Indikatoren für Informations- und Leitsysteme

Informations- und Leitsysteme tragen zur Vermeidung von Parkplatz- und Zielsuchverkehr bei, dadurch kann die Pkw-Fahrleistungen im Innerortsverkehr um 1 bis 2 % reduziert werden (FIS 2003b).

Weitere Indikatoren

Neben den in Kapitel 2 genannten typischen Indikatoren wie Modal Split und Preiselastizität, die auch die Wirksamkeit von PRM messen können, sind weitere Indikatoren relevant die sich spezifisch auf Maßnahmen des Parkraummanagements beziehen.

Darunter fällt der Parksuchverkehr, dieser ist nach umstrittenen Angaben des ADAC für 30 bis 40 % des innerstädtischen Gesamtverkehrs verantwortlich. Nach Shoup (2006) kann jedoch unter bestimmten Umständen bis zu 74 % des innerstädtischen Verkehrs auf den Parksuchverkehr zurückzuführen sein. Dabei nimmt der Suchverkehr pro Parkvorgang durchschnittlich 10 Minuten in Anspruch, dabei werden zusätzliche 4,5 Pkw-Kilometer gefahren (Fischer 2022). Jeder Autofahrer verbringt 41 Stunden im Jahr damit einen Parkplatz zu suchen (INRIX 2017). Dieses zusätzliche Umherfahren wirkt sich auf die Emissionen aus, insbesondere da bei der Parkplatzsuche besonders langsam mit häufigem Anhalten gefahren wird (Simićević et al. 2018). Laut Kodransky und Hermann (2011) sind 50 % der Verkehrsstockungen auf den Parksuchverkehr zurückzuführen. Die Zahlen machen deutlich welchen Einfluss der Parksuchverkehr auf die Verkehrsleistung und den Verkehrsfluss hat und daher einen wichtigen Indikator bei der Betrachtung von Parkraummanagementmaßnahmen darstellt.

Eng verbunden mit dem Parksuchverkehr ist die Auslastung von Parkraum, nach Pierce und Shoup (2013) soll diese optimal zwischen 60 bis 80 % liegen. Denn Auslastungen über 80 % führen wiederum zu erhöhtem Parksuchverkehr oder können Falschparken begünstigen. Im Rahmen einer Parkraumerhebung in der Innenstadt von Ahaus beobachteten Frehn et al. (2018) erhöhten Parksuchverkehr ab einer Auslastung zwischen 80 und 85 %, für Parkhäuser und Tiefgaragen kann die Auslastung, durch die geordnete Abfolge der Parkstände bei bis zu 90 % liegen ohne zu einer erheblichen Erhöhung des Parksuchverkehrs zu führen.

Ein weiterer Indikator ist die Flächeninanspruchnahme. Parkraum verbraucht einen erheblichen Anteil der städtischen Fläche, die umgenutzt werden könnte. Ausgehend von den gemeldeten Fahrzeugen, wird in Berlin eine Fläche von rund 17 km² benötigt zum Abstellen der Pkw, was ungefähr 13 % der Verkehrsfläche entspricht. Allerdings ist dabei zu beachten, dass nicht alle gemeldeten Fahrzeuge zeitgleich im öffentlichen Raum parken, sondern auch auf privaten Flächen oder zeitweise gar nicht in der Stadt parken (Scherf et al. 2019). Je nach Stadtteil nimmt der öffentliche Parkraum in Berlin bis zu 7 % der Gesamtfläche ein, Parkflächen im nicht-öffentlichen Raum erhöhen diesen Anteil zusätzlich (Breher und Lehmann 2022). Eine geringere Flächeninanspruchnahme trägt zwar nicht direkt zur Reduktion von CO₂-Emissionen bei, ist aber dennoch im Rahmen der Nachhaltigkeitsziele, worunter auch geringer Flächenverbrauch und Verkehrssicherheit fällt, inte-

ressant zu betrachten. Durch Umnutzung dieser Fläche kann durch Begrünung CO₂ gebunden werden, durch Fahrrad- oder Fußgängerwege nicht motorisierter Verkehr verstärkt werden und es können Möglichkeiten geschaffen werden, die Stadt lebenswerter zu gestalten.

Tabelle 7 stellt in einer Übersicht die Indikatoren zusammen, die bei der Berechnung der Klimawirkungen des PRM verwendet werden können.

Tabelle 7: Indikatoren zur Analyse der Klimawirkungen des PRM

Indikator	Beschreibung	Maßeinheit	Methoden
Kfz Bestand	Anzahl der für den Verkehr zugelassenen Kfz	Kfz	Statistik des Kfz Bundesamtes
Modal Split	Fahrleistung des IV und ÖV	Fzg-km	Verkehrsmodell
Stell- und Parkplätze	Anzahl der privaten und öffentlichen Stell- und Parkplätze	Anzahl	Stadtplanungsamt
Auslastung	Anteil belegter Parkstände in einem Gebiet	Prozent	Verkehrszählung, Sensordaten, Auswertung von Parktransaktionen
Gebühren	Gebühren für das Kurz-, Langzeit- und Bewohnerparken	€/ h €/ Tag €/ Jahr	Stadtplanungsamt
Parksuchverkehr	Dauer zwischen Ankunft am Ziel und Parken	Minuten	GPS-Daten, Umfragen
Fläche	Durch Parkraum in Anspruch genommene Fläche	Quadratmeter	Zählungen, Angaben der Baulastträger

4.3 Modellmäßige Berechnungen der Wirkungen

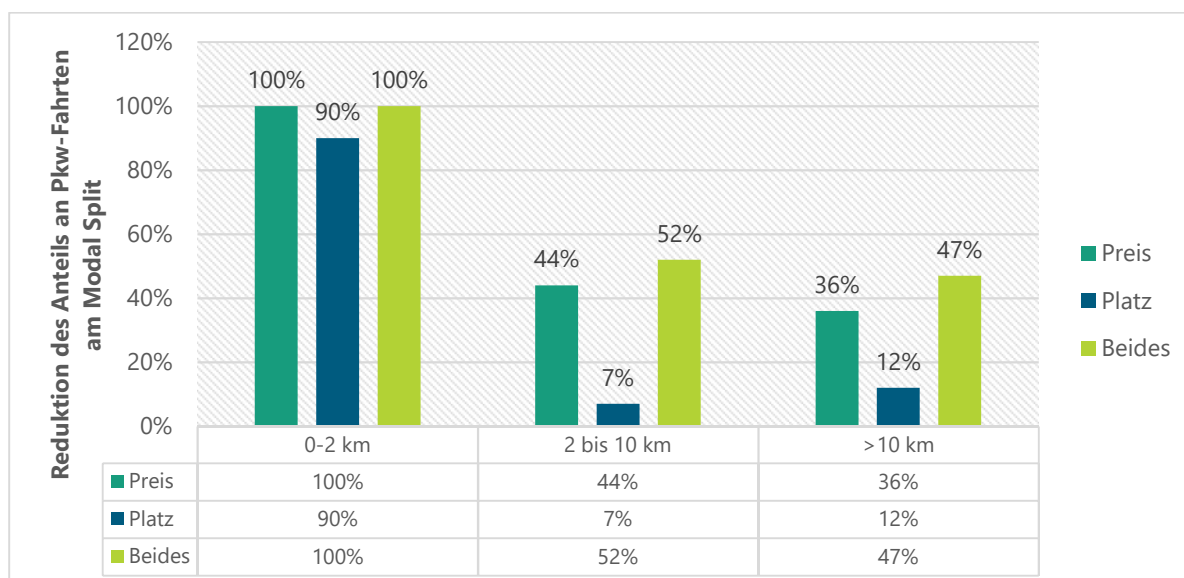
Die in diesem Kapitel aufgeführten Ergebnisse der modellmäßigen Berechnungen sind im Anhang 6 zusammengefasst.

4.3.1 Modellmäßige Berechnungen für Baden-Württemberg

M-Five (2022) führt mit Hilfe des ASTRA-Modells, (s. Kapitel 2.3.1) im Rahmen einer Beratung zu Klimaschutzwirkungen für das Verkehrsministerium Baden-Württemberg Berechnungen zu klimafreundlichem Parkraummanagement durch (s. Abbildung 22). Ziel ihrer Arbeit war die Ermittlung der Wirkung von Parkraummanagement auf die Pkw-Nutzung und den Pkw-Besitz, sowie auf die Klimawirkung, die durch THG-Emissionen abgebildet wird. Dafür wurden zwei verschiedene Maßnahmen betrachtet: Zum einen die Erhöhung der Parkgebühren und zum anderen die Reduktion von Parkständen sowie die Kombination beider Maßnahmen. Untersucht wird eine Gebühr von 4 € pro Stunde, 30 € pro Tag und 1.000 € pro Jahr, mit Einführung 2030 und Betrachtung der Ergebnisse 2031, wobei das Jahr 2021 den Status Quo vor Einführung der Maßnahmen abbildet.

Bezüglich der Auswirkung auf die Pkw-Nutzung zeigt die Berechnung einen stärkeren Effekt der Bepreisung gegenüber der Reduktion von Stellplätzen. Kosten für Kurzzeitparken am Zielort, führen zu höheren Kosten pro Fahrt, die Reduktion von Parkraum führt zu längeren Parksuchzeiten und

Zu- und Abgangszeiten. Die Maßnahmen wirken sich auf die Nutzung des Pkw aus, die zu betrachtende Ergebnisvariable ist die Modalwahl für Pkw-Nutzung, deren Veränderung in Abbildung 22 dargestellt wird. Deutlich wird, dass die Preiserhöhung sich vor allem auf kurze Strecken auswirkt: Rückgänge der Pkw-Nutzung von 100 % für Strecken unter 2 km, von 44 % für mittlere Strecken zwischen 2 und 10 km und von 36 % für Strecken über 10 km, während die Reduktion von Stellplätzen zu einem Rückgang um 90 %, 7 % und 12 % für die entsprechenden Streckenlängen laut Modell führt. Offensichtlich liegt hier eine modellmäßige Überschätzung der Wirkungen auf kurze Strecken (<2km) vor. Dennoch zeigt der Vergleich die wesentlich stärkere Wirkung der Bepreisung gegenüber dem PRM. Durch die Kombination beider Maßnahmen kann die Autonutzung um 100 %, 52 % und 47 % reduziert werden je nach Streckenlänge. Hier sind die stärksten Effekte zu verzeichnen, da die Autonutzung sowohl durch höhere Kosten als auch durch längere Fahrtzeiten an Attraktivität verliert. Ob durch die Kombination ein additiver Effekt einsetzt, kommt darauf an, welche Plätze wegfallen. Wenn nur die Plätze wegfallen, die bereits durch die Preiserhöhung nicht mehr genutzt werden, entsteht keine stärkere Wirkung.



Quelle: M-Five 2022

Abbildung 22 Auswirkung von Parkraummanagementmaßnahmen auf die Autonutzung in BW

Die oben genannten Maßnahmen wirken sich nicht nur auf die Nutzung von Pkw aus, sondern auch auf deren Besitz, da Anschaffungs- oder Abschaffungsentscheidungen von Pkw durch Zeit- und Bewohnerparkgebühren, die den jährlichen Besitzkosten eines Fahrzeuges angerechnet werden und durch längere Parksuchzeiten und Zu- und Abgangszeiten am Wohnort beeinflusst werden. Nach den Berechnungen von M-Five (2022) führen erhöhte Parkgebühren langfristig zu einer Reduktion des Pkw-Bestandes in BW zwischen 0,7 % und 7,8 %, was absolut 47.000 bis 521.000 Pkw entspricht. Bei der Reduktion von Parkplätzen ist je nach Szenario ein Rückgang zwischen 1,4 % und 4,2 % berechnet worden. Die größte Reduktion von bis zu 11,9 % ist wieder durch die Kombination beider Maßnahmen zu erwarten.

Bezüglich der Klimawirkung kann durch die Gebührenerhöhung auf von 4 € pro Stunde, 30 € pro Tag und 1.000 € pro Jahr und Stellplatzreduktion, mindestens eine Millionen Tonnen CO₂-Equivalent an THG-Emissionen eingespart werden. Bei einer separaten Betrachtung können durch

Bepreisung 0,75 Millionen Tonnen und bei Parkplatzreduktion 0,31 Millionen Tonnen CO₂-Equivalent eingespart werden.

Es lässt sich erkennen, dass die Gebührenerhebung zu deutlichen Entlastungen führen. Eine gleichzeitige Durchführung beider Maßnahmen ist sinnvoll, um Rebound Effekte auszuschließen, indem Parkfläche, die durch hohe Bepreisung nicht mehr genutzt wird, umgewidmet wird. Dies ist auch notwendig um ungenutzten Parkraum nicht finanzieren zu müssen. Es wird zu schrittweise Einführung geraten, damit die Maßnahmen eher von der Bevölkerung akzeptiert werden.

4.3.2 Weitere modellmäßige Berechnungen

Wirkung von Bepreisung

Am Beispiel der Stadt **Lille** in Frankreich ermittelten Hammadou und Papaix (2015) anhand einer Simulation, die Auswirkung verschiedener verkehrlicher Maßnahmen, darunter auch die höhere Bepreisung von Parkraum. Bei einer Erhöhung der Parkkosten um 10 % reduzieren sich die CO₂-Emissionen um 0,1 %; bei einer Parkkostenerhöhung um 50 % verringern sich die Emissionen um 0,58 %. Als begleitende Maßnahme wurde in der Simulation eingeführt, dass alle Parkplätze gleich viel kosten, um den Suchverkehr nach dem günstigen Parkplatz zu vermeiden. Weiterhin wurden verschiedene Maßnahmen kombiniert. Am wirkungsvollsten zeigte sich eine Kombination von einer Erhöhung der Parkgebühren um 50 %, einer 1,20 € Mautgebühr und einer 10 %ige Verbesserung der ÖPNV-Reisezeit. Dieses Maßnahmenbündel würde zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen in Höhe von 2,37 % führen.

In einem Modell, das auf Verkehrsdaten der Stadt **Portland** in Oregon in den USA basiert, untersucht Hess (2001) den Einfluss von Parkgebühren auf Pendler. Das Modell sagt vorher, dass ohne Parkgebühren 62 % alleine im Auto reisen, 16 % Fahrgemeinschaften bilden und 22 % öffentliche Verkehrsmittel wählen. Bei einer täglichen Parkgebühr von 6 US-Dollar (5,57 €, 22.03.2023), würde sich die Verkehrsmittelwahl erheblich verändern. 50 % würden öffentlich Verkehrsmittel wählen und der Autoverkehr würde sich reduzieren, nur noch 46 % der Pendler würden allein Autofahren und 4 % in Fahrgemeinschaften. Dies führt dazu das jährlich 62.000 weniger Fahrzeugkilometer pro 100 Pendler gefahren werden.

Wirkung von Bepreisung kombiniert mit einer Reduktion der Parkflächen

Für die Stadt **Winterthur** in der Schweiz im Kanton Zürich, betrachteten Widmer et al. (2016) die Auswirkungen von Preiserhöhung, Platzreduktion und der Kombination beider Maßnahmen auf die Anzahl der Fahrten, den Modal Split und die Abnahme von CO₂-Emissionen und Treibstoffverbrauch, mit Hilfe eines auf Stated Preference⁶ Umfragen basierenden Verkehrsmodells.

Als wichtige Entscheidungsfaktoren für die Verkehrsmittelwahl ermittelte Widmer Fahrzeit, Suchzeit und Kosten des Parkplatzes, wobei die Fahrtkosten während der Fahrt als eher unwichtig angegeben wurden. Eine erhöhte Suchzeit um 50 % durch die Reduktion von Stellplätzen resultierte in einem Rückgang der Nachfrage von MIV-Wegen um 11.000 Fahrten, das entspricht 0,28 % im Kanton Zürich und 3,1 % innerhalb Winterthur, die Verkehrsleistung des MIV sank um 1,7 %.

Eine Erhöhung der Parkgebühren um 150 % führt zu einem 70 % stärkeren Effekt als die Erhöhung der Suchzeit. Hier reduzieren sich die MIV-Wege um 17.000 pro Tag, das sind 0,44 % im Kanton Zürich. Innerhalb Winterthur sinken die MIV-Fahrten um 6,3 %, und die Verkehrsleistung geht um 3,5 % zurück.

⁶ = Methoden geäußerter Präferenzen sind Methoden, die anhand von Umfragen die Entscheidungen unterschiedlicher Nutzergruppen bewerten. Diese dienen als Basis für die Erstellung des Verkehrsmodells.

Die Kombination beider Maßnahmen erzielt die stärkste Wirkung, hier wird ein Rückgang von 26000 MIV-Fahrten pro Tag berechnet, das entspricht 0,66 % im Kanton Zürich. Innerhalb Winterthur reduzieren sich die MIV-Fahrten um 9 %, und die MIV-Verkehrsleistung um 4,8 %.

Bezüglich der Klimawirkung wurde ein Rückgang der CO₂-Emissionen um 2,3 %, bei der Reduktion von Parkständen, von 4,8 % bei höherer Bepreisung und von 6,8 % bei beiden Maßnahmen berechnet innerhalb Winterthur ohne Einbeziehung der Autobahn. Auf den gesamten Kanton bezogen reduzieren sich die CO₂-Emissionen bei Einführung beider Maßnahmen um 1,1 %.

Lokal ist eine deutliche Verbesserung des Verkehrsaufkommens zu sehen, allerdings kommt es zu Verlagerungen ins Umland, wodurch der Effekt bei weiträumiger Betrachtung abgemildert wird.

Wirkung von Bepreisung kombiniert mit einer Begrenzung der Parkdauer

Für **Belgrad** (Serbien) untersuchten Simićević et al. (2013) mit Hilfe eines Modells, das auf Ergebnissen aus Stated Preference Umfragen basiert, Reaktionen auf höhere Bepreisung und stärkere Begrenzung der Parkdauer. Als Ergebnis ermittelten die Autoren ein geringeres Verkehrsaufkommen, wobei vor allem Pendler auf die Maßnahmen auf Grund der Häufigkeit und Dauer ihrer Parkvorgänge reagieren. Nur wenige Befragte gaben an wegen der Einführung der Maßnahmen, die Fahrt komplett aufzugeben, eher entscheiden sie sich für andere Verkehrsträger oder einen off-street Parkplatz. 2018 untersuchten Simićević et al. (2018) außerdem Auswirkungen auf den Parksuchverkehr. Durch eine Angleichung der Preise von off-street und on-street Parkplätzen, kann laut dem Modell die Suchzeit um 32 % reduziert werden, was einen Rückgang der CO₂-Emissionen im Suchverkehr um 14,1 % und NO_x-Emissionen um 14,2 % mit sich brachte. Bei einer Gebührenerhöhung von 0,60 € auf 1,25 € wird sogar ein Rückgang der durch Parksuchverkehr verursachten CO₂-Emissionen von 41 % berechnet.

Wirkungen des betrieblichen Parkraummanagements

Ein Ansatz des betrieblichen Parkraummanagements ist das Cash-Out System, dabei setzt der Arbeitgeber seinen Angestellten einen Anreiz wie monetäre Zahlung oder ein Ticket für den öffentlichen Verkehr, wenn diese sich gegen einen Parkplatz am Arbeitsplatz entscheiden. Am Beispiel DHL in Leipzig ordnen Evangelinos et al. (2010) die Maßnahme als zielführend ein. Durch das Cash out System wird ein Rückgang des Pkw-Anteils am Modal Split der Angestellten von 68 % auf 55 % erwartet. Die Auswirkung von Bepreisung des Parkraums wird als noch effektiver bewertet mit einem Rückgang auf 44 %, Bepreisung ist jedoch schwieriger durchzusetzen und weniger akzeptiert als das Cash-Out System.

4.4 Empirische Erkenntnisse aus Verkehrsprojekten

In verschiedenen Städten wurden sowohl national als auch international Parkraummanagement Maßnahmen durchgesetzt. Auch wenn die Bewirtschaftung von Parkraum insbesondere in großen Städten sehr verbreitet ist, sind empirische Belege für die Auswirkungen nur begrenzt vorhanden. Dieses Kapitel beschreibt die empirischen Erkenntnisse aus Verkehrsprojekten über die Wirkungsmechanismen von durchgeführten Maßnahmen.

Typische Probleme und Schwierigkeiten, die bei der Umsetzung von Parkraummanagementmaßnahmen auftreten, sind die Befürchtung von geringer Akzeptanz und negativer Reaktion der Bevölkerung, wenig Erfahrung und Know-how von Seiten der Kommunen. Der Handlungsspielraum bewegt sich in gesetzlichen Grenzen, die zum Beispiel die flächendeckende Einführung von Parkraumbewirtschaftung erschwert. Die Implementierung in Form von Parktickets, Bewohnerparken, Parkdauerbeschränkung oder durch das Entfernen von Parkraum muss immer gut begründet werden,

dies erfordert einen langen Planungshorizont. Durch gering verfügbare Daten ist es schwierig Auswirkungen vorab zu ermitteln (Friesen und Mingardo 2020). Durch die Komplexität des Verkehrsverhalten und verschiedenen Wirkungszusammenhänge ist es nicht möglich die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen nachzuweisen. Die Ergebnisse aus den verschiedenen Städten wurden nicht in kontrollierten Experimenten ermittelt, sondern werden bestimmt durch externe Einflüsse, die die Wirkung der untersuchten Maßnahmen verstärken oder abmildern können. Außerdem treten einige Wirkungen erst deutlich später ein, da An- und Abschaffungsentscheidungen von Fahrzeugen nicht kurzfristig entschieden werden, das erschwert es zusätzlich die Wirkungszusammenhänge nachzuweisen.

4.4.1 Empirische Erkenntnisse zur Parkraumbewirtschaftung

Als erste Maßnahme wird die Parkraumbewirtschaftung untersucht. In verschiedenen Studien wurde die Auswirkung von höheren Parkkosten analysiert, eine Zusammenfassung der Maßnahmen und ihrer Auswirkungen ist in Tabelle 8 abgebildet, eine detaillierte Aufführung zeigt Anhang 7.

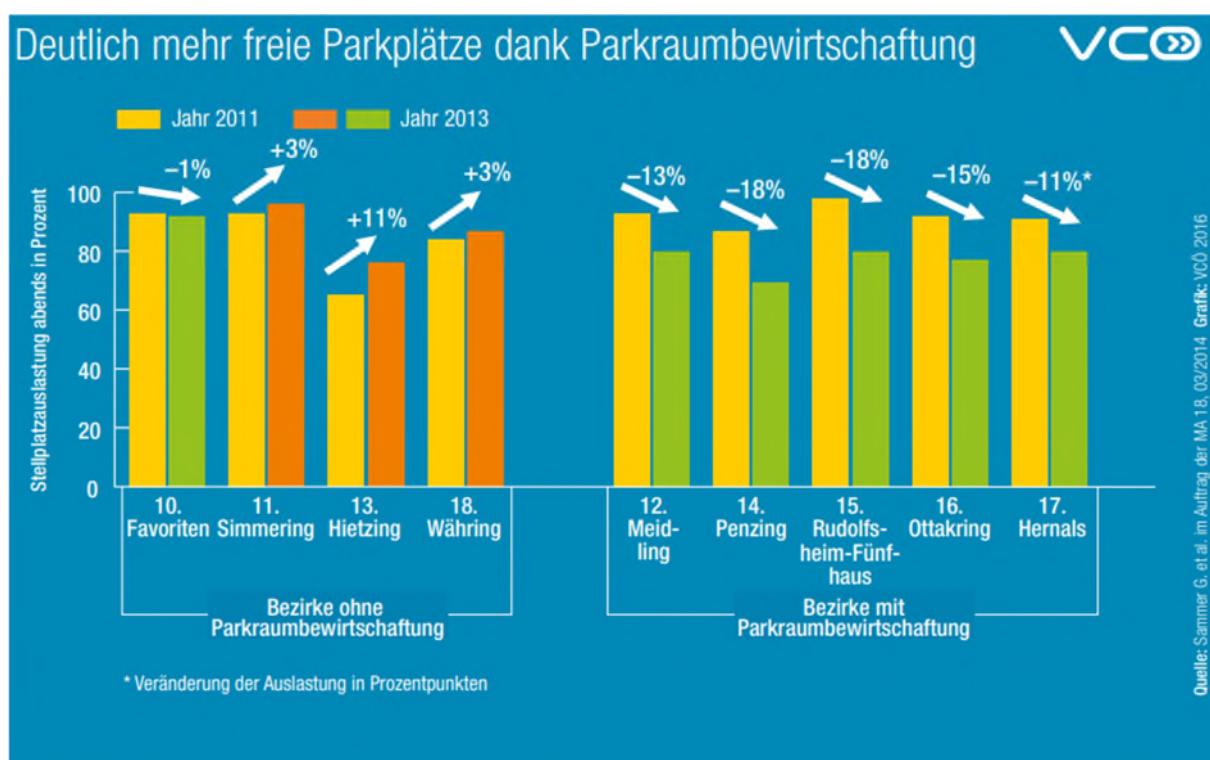
Tabelle 8: Übersicht verschiedener Maßnahmen und ihren Auswirkungen

Stadt	Maßnahme	Auswirkung
Parkraumbewirtschaftung		
Wien	2 h Kurzparkzonen und Bewohnerparken, Gebührenerhöhung	Auslastung: bis zu -30 % Pkw-Kilometer: -12 % Parksuchverkehr: -18 % Anteil des Pkw am Modal Split (Wege): -13 Prozentpunkte
Wien	Gebührenerhöhung um 0,80 €	Auswirkungen 1. Bezirk / 6. Bezirk Nachfrage Kurzzeitparken: - 21 %/ - 2 % Freie Plätze: +34 %/ +19 %
Chicago	Gebühren: +38 – 59% für Kurzzeit- und 123 % für Langzeitparken	Anzahl Ganztagesparker: -72 %
Freiburg	Bewohnerparken: Erhöhung von 30,70 auf 360 €	Beantragte Bewohnerparkausweise: - 47 % Gemeldete private Pkw: -2,2 %
Angebotssteuerung		
Oslo	Öffentliche On-Street Parkplätze: - 52 %, kombiniert mit der Einführung autofreier Straßen	Verkehrsaufkommen: -19 %
Vitoria-Gasteiz	Überwiegendes Parkverbot in der Innenstadt (-2000 Parkplätze) Dreifache Parkgebühren	CO ₂ -Emissionen: -9,5 % Motorisierungsgrad: - 36 % Fzg./EW Verkehrsaufkommen: -24 %
Nottingham	Erhöhte Parkgebühr am Arbeitsplatz Verbesserets ÖPNV-Angebot	CO ₂ -Emissionen: - 33 %
Informations- und Leitsysteme		
London	Einführung einer Verfügbarkeitsanzeige über eine App	Parksuchzeit: -57 % Einsparpotential THG-Emissionen*: - 643.000 t CO ₂ e
San Francisco	Dynamische Bepreisung Verfügbarkeitsdaten	Parksuchzeit: -43 % Fahrzeugkilometer: -30 % THG-Emissionen: -30 %

* Hochrechnung auf alle Fahrzeuge

Wirkungen des Parkraummanagements in Wien

In Wien wurden Kurzparkzonen kombiniert mit Bewohnerparken eingeführt und die Auswirkungen beobachtet, sowie separat davon die Wirkungen einer Gebührenerhöhung. 1993 wurden im ersten Wiener Gemeindebezirk Kurzparkzonen und das Parkpickerl eingeführt. Parkpickerl nennt sich die Berechtigung für Bewohner zeitlich unbegrenzt im jeweiligen Bezirk zu Parken. Die Kosten für diesen betragen 10 € im Monat zuzüglich einer einmaligen Verwaltungsabgabe von 40 € bis 50 €. Seitdem wurden die Maßnahmen schrittweise ausgeweitet und sind seit März 2022 flächendeckend eingeführt. Die Preisgestaltung, sowie eine maximale Parkdauer von zwei Stunden sind in allen Bezirken einheitlich. Die Parkkosten belaufen sich seit Januar 2023 auf 1,25 € für 30 Minuten im Zeitraum von 9 Uhr bis 22 Uhr werktags und können am Kiosk oder mobil per Handy bezahlt werden. Außerhalb dieser Zeiten und für eine Parkdauer von 15 Minuten kann man kostenfrei parken.



Quelle: VCO 2016

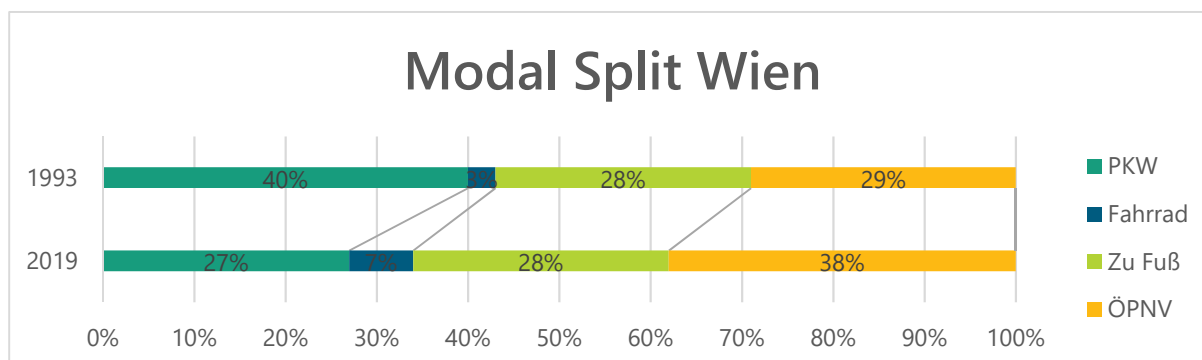
Abbildung 23: Parkraumauslastung in Wien nach Bezirken

Die Auswirkungen der Maßnahmen zeigen sich durch eine geringere Auslastung der Parkplätze um bis zu 30 %. So wurde in den Innenbezirken ein Rückgang von 100 % auf 70 % am Vormittag und von 99 % auf 88 % am Abend gemessen. In den Außenbezirken sank die Auslastung vormittags von 84 % auf 62 % und abends von 91 % auf 80 % (Stadt Wien 2023b). Gemessen wurden diese Vorher-Nachher Vergleiche durch Parkraumerhebungen wie Kennzeichenerhebungen und mit Hilfe von m-parking Daten, das sind Daten, die durch das mobile Parken erhoben werden (Sammer et al. 2019). Außerdem ist der Anteil an Pkw-Pendlern deutlich zurückgegangen. Während 2003 noch 27 % mit dem Auto aus den Außenbezirken ins Zentrum gefahren sind, waren es 2018 nur noch 16 %. An der Autobahnzählstelle Pressbaum zeigte sich ein Rückgang von 1.000 Fahrzeugen pro Tag im Jahr 2013, nachdem in den westlichen Bezirken Parkraumbewirtschaftung eingeführt wurde, gegenüber dem Vorjahr, was 7,5 % entspricht. Des Weiteren zeigt sich der Rückgang, durch einen geringeren

Anteil parkender Autos ohne Wiener Kennzeichen, der nach Einführung der Maßnahmen im Bezirk Floridsdorf 2022 im Vergleich zu 2021 von 20,3 % auf 7,5 % abfiel. Das Verkehrsaufkommen konnte 2013 gegenüber 2012 um 8.000 Pkw-Fahrten pro Werktag reduziert werden. Währenddessen ist die Auslastung der Park and Ride Anlagen in Wien und Niederösterreich angestiegen. Weitere Auswirkungen zeigen sich durch eine Verringerung des Parksuchverkehrs um 18 %, sowie einen Rückgang der zurückgelegten Pkw-Kilometer um 12 %. Der dadurch verbesserte Verkehrsfluss führt dazu, dass die Straßenbahn pünktlicher und verlässlicher fährt. Des Weiteren zeigt sich ein Rückgang der Falschparkenden um zwei Drittel (Stadt Wien 2023c, VCÖ 2021; Stadt Wien 2023a).

Als die Bewirtschaftung noch nicht flächendeckend eingeführt wurde, konnte ein Ausweicheffekt auf Nachbargebiete ohne Parkraumbewirtschaftung beobachtet werden, sodass im 13. Bezirk die Auslastung von 76 auf 84 % anstieg. Die Wirkung auf die Auslastung in Bezirken mit und ohne Bewirtschaftung ist in Abbildung 23 dargestellt.

Auch der Modal Split zeigt die Wirksamkeit der Maßnahmen, wie Abbildung 24 darstellt. Während 1993 der Anteil des Pkw noch bei 40 % lag, betrug dieser 2019 nur noch 27 %, dafür gewann insbesondere der ÖPNV an Nutzern, einige Verkehrsteilnehmer wechselten auch auf die Nutzung des Fahrrads, während der Anteil an Fußgängern gleichblieb. Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist zu beachten, dass parallel zu den Parkraummaßnahmen weitere Maßnahmen wie der Ausbau des ÖPNV durchgeführt wurden und somit die Wirkung nicht vollständig der Parkraumbewirtschaftung zugeordnet werden können (Stadt Wien 2023a).



Quelle: Stadt Wien 2023c

Abbildung 24: Verlagerung auf Öffentliche Verkehrsmittel

Die oben genannten Effekte entstanden durch eine Kombination von Kurzparkzonen, Bewohnerparken und Gebührenerhöhungen. Hössinger und Uhlmann (2012) untersuchten isoliert die Wirkung von Gebühren, die im März 2012 von 1,20 € auf 2,00 € pro Stunde erhöht wurden, während dessen keine weiteren Maßnahmen des Parkraum Managements eingeführt wurden. In einer Vorher-Nachher Untersuchung wurde die Anzahl von Kurz- und Dauerparkern erhoben, kurz vor der Einführung, sowie 3 Wochen und 7 Wochen nach Erhöhung der Gebühren. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Nachfrage durch Kurzparkler im 6. Bezirk um 21 % und im ersten Bezirk um 12 % sank, wodurch die Auslastung des Parkraums verringert und die Anzahl der freien Plätze im ersten Bezirk um 34 % und im sechsten Bezirk 19 % erhöht wurde, was wiederum den Parksuchverkehr und Falschparken reduzierte.

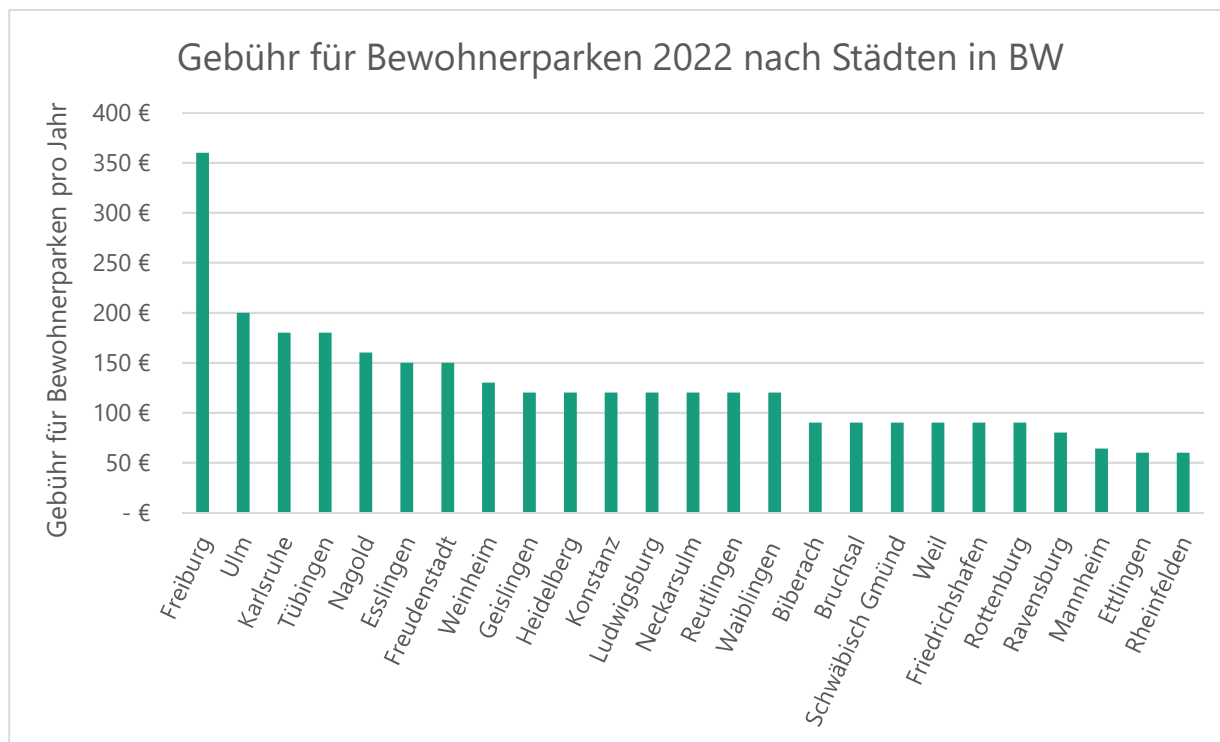
Grundsätzlich gilt in Wien das Mischprinzip beim Parken, was bedeutet, dass die Stellplätze sowohl von Bewohnern mit Bewohnerparkschein als auch von Besuchern mit Parkticket genutzt werden können. In Gebieten, in denen trotz Kurzparkzone die Auslastung über 90 % liegt, ist es möglich,

die Parkplätze exklusiv für Bewohner zur Verfügung zu stellen, dabei gilt in Wien die Vorschrift, dass in einem abgegrenzten Gebiet die Reservierung für Bewohner nicht 30 % überschreitet. Für die Beschilderung erwarten die Bezirke Kosten in Höhe von 200 bis 300 € pro Stellplatz (Stadt Wien 2023b).

Die zusätzlichen Einnahmen aus Parkgebühren werden unter anderem für die Finanzierung des Nahverkehrsticket genutzt, welches für 365 € pro Jahr angeboten wird (Fischer 2022). Diese Zweckwidmung besteht seit 2007 und ist in § 7 der Parkometerabgabenordnung geregelt. Durch die Parkometerabgabe konnten im Jahr 2014 102 Mio. € eingenommen werden, davon 19 % durch das Parkpickerl, 7 % durch andere Pauschalierungen und 74 % durch Parkscheine. Nach Abzug der Ausgaben für Personal- und Sachaufwand ist der Nettoertrag 70,78 Mio. €. Hinzu kommen Einnahmen aus Strafgeldern in der Höhe von 84,92 Mio. €. Es ist zu sehen, dass der Nettoertrag im Jahr 2012 nach der Gebührenerhöhung von 1,20 € pro Stunde auf 2,00 € pro Stunde um 23 % anstieg (Der Rechnungshof 2017).

Wirkungen des Bewohnerparkens

Seit Juli 2021 wurde im Land Baden-Württemberg der Höchstsatz für Bewohnerparken in Höhe von 30,70 € abgeschafft, seitdem haben einige Städte die Gebühren für Bewohnerparken angehoben, wie in Abbildung 25 zu sehen ist. Die Abbildung zeigt die durchschnittliche Gebühr in den verschiedenen Städten, in Biberach gibt es eine Staffelung der Gebühr nach Zonen, in Freiburg wird die Gebühr nach der Fahrzeuglänge differenziert, in Tübingen muss für Pkw ab einem bestimmten Gewicht eine höhere Gebühr gezahlt werden. Freiburg kassierte 2022 durchschnittlich 360 € pro Jahr, mit einem Spitzenpreis von 480 €.



Quelle: Fließbaden 2022

Abbildung 25: Durchschnittliche Gebührenhöhe für Bewohnerparken im Jahr 2022 in Städten in BW mit Gebühren über 30,70 €

Das Bewohnerparken in **Freiburg** kostete seit dem 1. April 2022 bis zum Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes durchschnittlich 360 € im Jahr. Das hatte der Freiburger Gemeinderat nach langen und intensiven Diskussionen am 14. Dezember 2021 entschieden. Die Gebühren für Bewohnerparkausweise sind je nach Länge des Fahrzeugs in drei Stufen gestaffelt. Personen mit Behinderung erhalten eine Ermäßigung; Besucher, Kunden und Gäste können auf den gebührenpflichtigen Parkplätzen im öffentlichen Straßenraum parken.

Die "Freiburger Formel" sah die folgenden jährlichen Gebühren je nach Länge des Fahrzeuges vor:

- bis einschließlich 4209 mm: 240 Euro
- von 4210 mm bis einschließlich 4700 mm: 360 €
- ab 4701 mm: 480 €

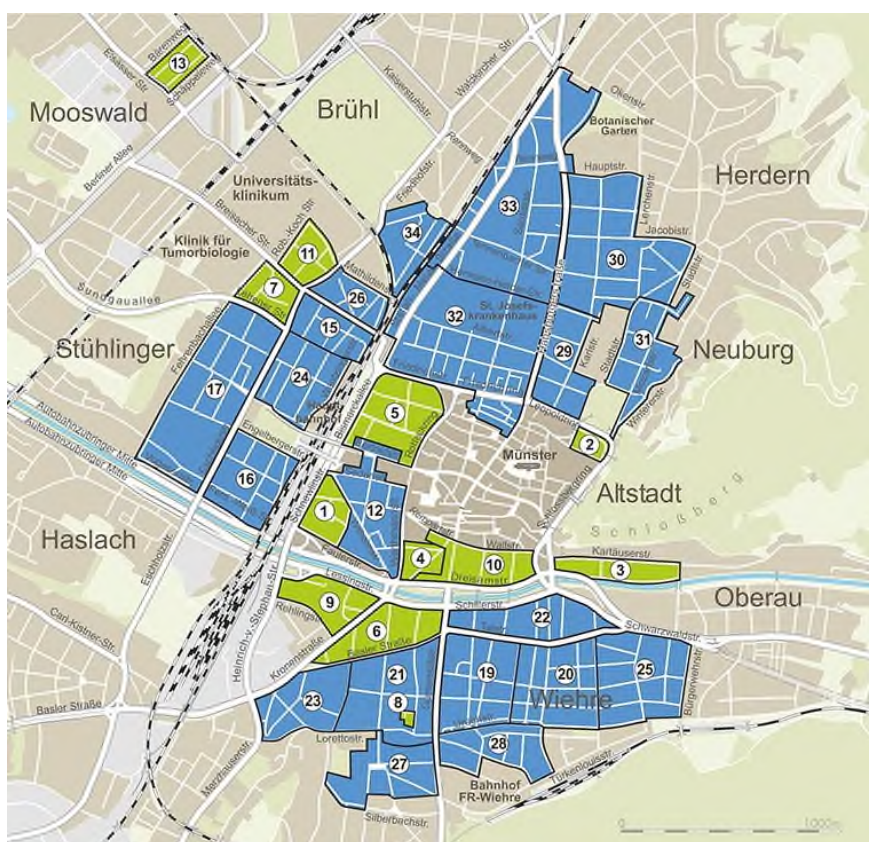


Abbildung 26: Zonen für Bewohnerparken in Freiburg

Vor der Einführung der Maßnahme im April 2022 betrug die jährliche Zahl der Parkausweise 10.515. Diese gingen bis Januar 2023 auf 5.541 zurück, was einer Reduktion um 47 % entspricht (BZ 27.02.23). Dieser Rückgang kann sowohl auf Wirkungen als auch auf Ausweich-Effekte der Maßnahmen zurückgeführt werden. Dazu werden in der Diskussion eine Reihe von Vermutungen angestellt:

1. Ca. 40 % der Parkausweise wurden bisher für Menschen ausgestellt, die nicht in dem entsprechenden Gebiet wohnten (BZ 27.02.23). Die höheren Gebühren führten vermutlich dazu, dass andere Parkplätze genutzt werden.
2. Ungenutzte Parkausweise wurden bisher aufgrund der geringen Kosten nicht abgemeldet.

3. Fahrzeuge werden nach der Gebührenerhöhung außerhalb des bepreisten Gebietes geparkt.
4. Studenten, die einen Platz in einer Tiefgarage mit der Wohnung zusammen angemietet haben, zogen es vor diesen zu vermieten und ihr Fahrzeug auf der Straße zu parken.
5. Vorgärten werden in private Parkplätze umgewandelt und private Garagen, die bisher anderweitig genutzt wurden, wieder als Stellplatz verwendet.
6. Die Fahrzeuge wurden abgeschafft.

Deutlich wird, dass lediglich die Reaktion Nr. 6 einen Effekt für den Klimaschutz hätte. Erstmals seit 2004 ging 2022 die Zahl der Pkw in Freiburg zurück. 2021 waren noch 80.441 Pkw privat zugelassen, im Jahr 2022 sank diese Zahl auf 79.796. Der Rückgang in Gebieten mit Bewohnerparkgebühren betrug 2,2 %, während dieser in unbepreisten Gebieten nur 0,5 % betrug (BZ 27.02.23). Interessant ist die Frage, wie die Reaktionen im zweiten Jahr nach der Gebührenerhebung ausfallen werden⁷. Eine weitere Wirkung ist jedoch, dass Parkierungsflächen frei werden, die jetzt anderweitig, z.B. für Fahrrad-Parkhäuschen genutzt werden könnten. Der Gemeinderat hat darüber noch nicht entschieden.

Ein Verfahren gegen die Gebührenerhebung vor dem Verwaltungsgerichtshof wurde zunächst abgelehnt, das Bundesverwaltungsgericht revidierte jedoch das Urteil am 13. Juni 2023 (siehe Kasten). Die Stadt Freiburg entschloss sich darauf, wieder die alten Gebühren in Höhe von 30 € zu erheben und die bis dahin gezahlten erhöhten Gebühren zu erstatten⁸.

Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 13.6.23 zu den Gebühren für Bewohnerparken in Freiburg

Die Parkgebührenverordnung ist danach keine taugliche Rechtsgrundlage für den Erlass einer Satzung, weil § 6a Abs. 5a StVG ausschließlich zum Erlass einer Rechtsverordnung ermächtigt. Darüber hinaus verletzt der Stufentarif den allgemeinen Gleichheitssatz des Art. 3 Abs. 1 GG. Die damit verbundenen starken Gebührensprünge bilden den je nach Fahrzeuglänge unterschiedlichen Vorteil nicht mehr angemessen ab. Im Extremfall kann ein Längenunterschied von 50 cm zu einer Verdoppelung der Gebühr führen. Die mit diesen Sprüngen einhergehende beträchtliche Ungleichbehandlung ist auch unter dem Gesichtspunkt der - hier allenfalls geringfügigen - Verwaltungsvereinfachung nicht zu rechtfertigen. Für die Ermäßigung und den Erlass der Gebühren aus sozialen Gründen fehlt ebenfalls eine Rechtsgrundlage. Denn nach der maßgeblichen Norm des § 6a Abs. 5a StVG dürfen bei der Gebührenbemessung nur die Gebührenzwecke der Kostendeckung und des Vorteilsausgleichs berücksichtigt werden. Eine Bemessung der Gebühren nach sozialen Zwecken hat der Gesetzgeber nicht vorgesehen. Dies wäre nach der ständigen Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts jedoch erforderlich gewesen.

Nicht beanstandet hat das Bundesverwaltungsgericht indes die Höhe der "Regelgebühr" in Höhe von 360 €. Angesichts des erheblichen Wertes eines wohnungsnahen Parkplatzes steht sie weder in einem groben Missverhältnis zum Gebührenzweck des Ausgleichs der mit dem Parkausweis verbundenen Vorteile noch ist sie vollständig von den zu deckenden Kosten der Ausweisausstellung abgekoppelt.

Quelle: Bundesverwaltungsgericht Pressemitteilung 47/2023

⁷ Nicht alle Inhaber eines Wohnparkausweises waren von der erhöhten Gebühr betroffen, wenn sie vor April 2022 ein Ausweis beantragt hatten.

⁸ <https://www.freiburg.de/pb/,Lde/1863933.html>

Weitere Wirkungen der Parkraumbewirtschaftung

Nachdem in **Chicago** 10 Jahre lang die Parkgebühren nicht angepasst wurden und die Preise der öffentlichen Parkplätze 50 % niedriger waren als die Angebote privater Akteure, fand eine Erhöhung zwischen 38 % und 59 % pro Stunde statt, für Langzeitparker wurden die Preise bis zu 123 % für 8 Stunden angehoben. Dies führte zu einem Rückgang der Anzahl der Ganztagesparker um 72 % gegenüber dem Vorjahr. Dafür war ein Anstieg der Kurzzeitparker zu verzeichnen (Kunze et al. 1980). Der Rückgang ist nicht proportional zur Preiserhöhung, weil andere Faktoren, wie Ausgangspreis, Lage und Auslastung eine Rolle spielen. Die Wirkungen liegen zwischen 46,6 % und 78,6 % und können im Extremfall sogar 90 % betragen.

Die zusätzlichen Mittel, die durch höhere Gebühren eingenommen werden, können zu Gunsten eines nachhaltigen Verkehrs verwendet werden, so nutzt Amsterdam die Parkgebühren zu 38 % für die Bewirtschaftung und Instandhaltung des Parksystems, zu 39 % für den allgemeinen Stadthaushalt und zu 23 % für Mobilitätsmaßnahmen, wie Verbesserungen für den Radverkehr, ÖPNV und die Verkehrssicherheit (Difu 2015).

Elastizitäten der Wirkungen

Wie in Kapitel 2.4 dargestellt, eignet sich die Betrachtung von Elastizitäten, um die Veränderung der Nachfrage abzuschätzen. Neben der typischen Preiselastizität gibt es auch Berechnungen der Zeitelastizität, diese bildet die prozentuale Änderung der Nachfrage nach Parkraum ab, bei der Erhöhung der Abgangszeiten um ein Prozent.

Tabelle 9: Elastizitäten von Parkraummaßnahmen

Parkraum Bepreisung / Kosten	Parkraum- verfügbarkeit	Quelle (Jahr)	Ort	Anmerkung
Pkw-Besitz				
-0,7		Ostermeijer et al. 2019	Niederlande, 2000- 2016 bzw. 2004- 2014	
Pkw-Nutzung (abgebildet über die Parknachfrage)				
-0,41 -0,63 -0,18 -0,45		Lehner und Peer 2019	Große Meta-Studie	Pendlerstrecke, obere & untere Grenze; Keine Pendelstrecke, obere & untere Grenze
-0,28 -0,43 -1	-0,16 -0,24 -0,43	Widmer 2004	Schweiz (3 Städte)	Frauenfeld; Schaffhausen; Zürich
-0,24 -0,41	-0,53 -0,38	Harmatuck 2007	Kanada, Toronto	1. Block 3. Block
-0,54 -1,02 -0,48	-0,05 -0,28 -0,72	Hensher und King 2001	Australien, Sydney	Direkt am Arbeits- platz Woanders im Stadt- zentrum Am Rand
-0,4 -0,21 -0,53		Pierce und Shoup 2013	USA, San Francisco	Durchschnitt Wohngebiet Geschäftsviertel

-1,2		Kunze et al. 1980	USA, Chicago	Langzeitparker
-0,71		Haworth und Hilton 1982	England, London	Langzeitparker
-0,26 -0,47		Hössinger und Uhl- mann 2012	Österreich, Wien	1. Bezirk 6. Bezirk

Die Elastizitäten bewegen sich überwiegend im unelastischen Bereich zwischen -0,2 und -0,5. Ein besonders starker Effekt von -1,2 wurde am Beispiel Chicago gemessen, welches im vorigen Abschnitt beschrieben wurde. Dies ist darauf zurückzuführen, dass eine hohe Preiserhöhung nach langer Zeit ohne Veränderung eingeführt wurde und nur Langzeitparker einbezogen wurden, welche besonders stark durch höhere Gebühren belastet werden (Kunze et al. 1980). Der höhere Effekt auf Langzeitparker und Pendler spiegelt sich auch in den Ergebnissen von Haworth und Hilton (1982) und Lehner und Peer (2019) wider. Bei der Berechnung der Elastizitäten wird die Pkw-Nutzung über die Parkplatznachfrage abgebildet.

4.4.2 Empirische Erkenntnisse zur Angebotssteuerung

Wirkung der Reduktion von Parkflächen

Als positives Beispiel für die Reduktion von Stellplätzen lässt sich die norwegische Hauptstadt Oslo aufführen. Dort wurden öffentliche Parkplätze in und um die Innenstadt zurückgebaut. Neben dem Rückbau von Parkfläche wurde der Autoverkehr in einigen Straßen der Innenstadt verboten, dafür wurde die Infrastruktur für Fußgänger und Fahrradverkehr ausgebaut.

Von 1.450 öffentlichen on-street Parkplätzen, wurden 760 abgebaut, die Maßnahme betrifft hauptsächlich Besucher. Das geringere Stellplatzangebot führte zu verschlechterten Bedingungen der Autonutzung, während durch Umnutzung der Flächen Rad- und Fußgängerverkehr attraktiver gestaltet wurde, was dazu anregen soll bei der Verkehrsmittelwahl eine nachhaltige Alternative zu verwenden. Ausgehend von einer Stellplatzgröße von 13,5 m², werden somit 10.260 m² frei, das entspricht 0,7 % der Gesamtfläche des untersuchten Gebietes.

Die Pläne für das Projekt starteten 2015 und 2017 begann die Umsetzung, indem zunächst 350 Plätze abgeschafft wurden und für Stadtmobiliar, Kunst, Begrünung verwendet wurden. Die Abbildung 27 zeigt, wie Parkraum umgenutzt werden kann, um Aufenthaltsmöglichkeiten für Fußgänger zu schaffen. 2018 kamen 410 weitere Parkplätze hinzu die zusätzlich für Spielplätze, breitere Gehwege oder Fahrradstraßen verwendet wurden. Damit wurde darauf abgezielt die Stadt lebhafter zu gestalten und die Bedürfnisse der Fußgänger an erste Stelle zu setzen. Obwohl 90 % der Stellplätze sich in öffentlichen und privaten Garagen befinden, an denen nichts geändert wurde, und die Maßnahme somit nur einen sehr geringen Teil der Parkfläche betrifft, konnten Veränderungen im Verkehrsverhalten beobachtet werden (Hagen und Tennøy 2021).

Die Auswertung von Verkehrsdaten zeigten, dass diese Maßnahmen zu einem Rückgang des Verkehrsaufkommens innerhalb der Innenstadt um 19 % zwischen 2018 und 2019 im dritten Jahr nach ihrer Einführung führten, in den ersten beiden Jahren betrug der Rückgang 11 %. Es ist zu beachten, dass neben dem Rückbau von Parkständen auch die 2017 eingeführte City-Maut auf die Ergebnisse wirkt. Außerdem wurden Pkw stärker ausgelastet, anstatt 1,41 Personen pro Fahrzeug, stieg die Zahl der Fahrzeuginsassen auf 1,85 Personen pro Fahrzeug. Durch Umfragen ergab sich des Weiteren, dass die Fußgängerzahlen bis 2018 um 14 % anstiegen und bis 2019 sogar um 43 %.

Allerdings reagierten insbesondere Unternehmen und Einzelhändler mit Widerstand gegen die Einführung, obwohl ein leichter Anstieg des Umsatzes des Einzelhandels zu zeichnen war. In der Bevölkerung wurden die Entwicklungen nach Einführung der Maßnahmen von 50 % positiv bewertet (Kuss und Nicholas 2022; Modijefsky 2021).

Eine Umfrage von Besuchern der Innenstadt ergab, dass die Nutzung von on-street Parken im untersuchten Bereich von 39 % der Befragten im Jahr 2017 auf 30 % im Jahr 2018 gesenkt werden konnte, dafür erhöhte sich die Nutzung von Parkgaragen von 32 % 2017 auf 40 % 2018, und privaten Stellplätzen von 12 % auf 17 % (Tennøy und Hagen 2021). Eine Verkehrszählung des städtischen Umweltamts ergab, dass die Anzahl der Autos in der Innenstadt von 2016 bis 2019 um 28 % sank (Elvaas 2020).



Quelle: Vestre GmbH

Abbildung 27: Umnutzung von Stellplätzen in Oslo

In Vitoria-Gasteiz in Spanien wurden die Parkmöglichkeiten stark begrenzt, so dass es im innerstädtischen Bereich nur noch für Bewohner möglich ist, Parkhäuser und Parkplätze zu nutzen, in den verkehrsberuhigten „Superblocks“ ist parken sogar überwiegend verboten. Außerhalb der Innenstadt ist das Parken kostenpflichtig, wobei die Parkgebühren verdreifacht wurden. Neben den Maßnahmen bezüglich des Parkens wurden auch Zufahrtsbeschränkungen in die Innenstadt für private Pkws eingeführt. Um diese Maßnahmen zu unterstützen, wurde außerdem das ÖPNV-Angebot verbessert. Die Wirkung zeigt sich durch eine Abnahme des Autoverkehrs von 36 % auf 24 %. Außerdem konnte mehr Fußgängerverkehr in der Innenstadt beobachtet werden und ein Anstieg der Fahrradnutzung, dessen Anteil sich im Modal Split von 3 % der Wege auf 10 % erhöhte. Durch den Wegfall von ungefähr 2.000 Parkplätzen wurde Platz frei, um die Tramschienen auszubauen,

außerdem wurde zusätzlicher Raum für Fuß- und Radverkehr geschaffen. Bezüglich der Klimawirkung gingen die CO₂-Emissionen um 9,5 % zurück (CIVITAS 2021; Pressl 2019).

Auch in Donostia-San Sebastian in Spanien wurden die Stellplätze an der Straße reduziert. Der Anteil der Fußgänger an der Verkehrsleistung stieg um 6 Prozentpunkte und der des Radverkehrs um 1 Prozentpunkt. Jedoch wechselten die meisten Verkehrsteilnehmer vom ÖPNV, der Anteil des Autos nahm nur um 1 Prozentpunkt ab. Darüber hinaus wurde das ÖPNV-Angebot ausgebaut, Park and Ride Plätze wurden ausgebaut und die Bedingungen für Fußgänger verbessert. Dies führte zu 2.500 weniger Autos im Stadtzentrum (Tight et al. 2016).

Wirkungen des betriebliches Stellplatzmanagements

In Nottingham gilt seit 2012, dass ab einer Anzahl von über 10 Mitarbeiterparkplätzen im Innenstadtbereich eine Gebühr erhoben werden muss, um den Verkehr von Pkw-Pendlern zu entlasten und das dadurch entstehende Stauaufkommen zu reduzieren. Um dies zu unterstützen, wurde zusätzlich das ÖPNV-Angebot ausgebaut und Arbeitgeber wurden beim Parkraummanagement beraten. Dadurch konnte mittels einer Befragung der Pendler ein Wechsel von 8,6 % vom Pkw auf nachhaltige Verkehrsträger beobachtet werden. Die dadurch generierten Gebühren konnten für den Ausbau der ÖPNV-Infrastruktur genutzt werden (Dale et al. 2019). Der CO₂-Ausstoß in Nottingham konnte, unter anderem durch das Maßnahmenpaket, von 2005 bis 2016 insgesamt um 33 % verringert werden, davon sind schätzungsweise 13 % auf den Modal Split zurückzuführen (WWF 2016).

Die IHK Darmstadt Rhein Main Neckar führte ein, dass für die Nutzung der Tiefgarage ein Parkticket notwendig ist und diese nicht mehr kostenlos genutzt werden kann. Dies wird kombiniert mit einem Job-Ticket für den Nahverkehr, Förderung des Radverkehrs und Bereitstellung von Anreiseinformationen für Besucher. Vor Einführung der Maßnahmen nutzten über 70 % der Beschäftigten den MIV für die tägliche Fahrt zur Arbeit, was regelmäßig zu einer Überlastung der Tiefgarage führte. Das Parkraummanagement konnte den Anteil des MIV um 40 % reduzieren und die Angestellten zum Umstieg auf ÖPNV und Radverkehr motivieren (DIHK 2018).

Wirkungen der Zentralisierung des Parkraums

In Brüssel wurde das Parken auf Park and Ride Plätzen gebührenfrei ermöglicht und der Preis für die Nutzung von Fahrradgaragenplätzen um 75 % reduziert, wodurch insbesondere Pendler dazu motiviert werden sollen, mit dem ÖPNV ins Stadtzentrum zu fahren (Eltis 2022).

Laut einer Schätzung des Umweltbundesamtes am Beispiel der Stadt Dortmund können durch Park-and-Ride Anlagen ungefähr 13.000 Fahrzeugkilometer aus der Innenstadt verlagert werden, was zu CO₂-Einsparungen von 664 t pro Jahr führt. Dabei ist davon auszugehen, dass die Wirkung durch gegenläufige Effekte verringert wird, da Park-and-Ride Anlagen Personen, die zuvor nur mit öffentlichen Verkehrsmitteln gefahren sind, dazu bewegen kann, die Strecke intermodal zurückzulegen (Heinitz 2020).

Auch wenn viele Städte über Park-and-Ride Anlagen verfügen und auch Quartiersgaragen und Mobility Hubs hinzukommen, gibt es bei der Messung der Auswirkungen auf den Verkehr noch Forschungsbedarf.

Wirkungen einer Mehrfachnutzung

In Sint-Niklaas in Belgien wurden on-street Parkplätze entfernt, um eine Fahrradspur errichten zu können. Damit die Bewohner trotzdem genügend Stellplätze zur Verfügung haben, wurde eine Abmachung mit einem Supermarkt getroffen, sodass außerhalb der Öffnungszeiten der Parkraum von

den Bewohnern genutzt werden kann und nicht leer steht. Außerdem stehen Lieferzonen außerhalb ihrer Nutzungszeit als Fahrradstellplatz zur Verfügung (Pressl und Rye 2020).

4.4.3 Informations- und Leitsysteme

London

Die Auswirkung von Informations- und Leitsystemen lässt sich am Beispiel London betrachten. In der West End Area in London wurden on-street Parkplätze mit Sensoren ausgestattet, die die Belegung des Parkplatzes erfassen können. Die Verfügbarkeit kann dadurch in der „ParkRight“ App angezeigt werden, sodass Nutzer der App direkt erkennen können ob noch freie Parkplätze verfügbar sind und wo diese sich befinden. Neben der Anzeige der Verfügbarkeit, lässt sich mit der App ebenfalls bezahlen oder das Parkticket verlängern.

Diese Maßnahme führt dazu, dass die Parkplätze gezielt angefahren werden können, was den Parksuchverkehr reduziert. Des Weiteren helfen die Sensoren dabei Falschparker schneller zu entdecken. In einer Umfrage wurden die Nutzer der App gefragt, wie lange sie vor und nach der Einführung für die Parkplatzsuche gebraucht haben, dabei kam heraus, dass die Parksuchzeit von durchschnittlich 17,65 Minuten auf 10,17 Minuten gesenkt werden konnte. Anhand dieser Angaben berechneten die Autoren durch eine Hochrechnung auf die gemeldeten Fahrzeuge ein Einsparpotential für die Stadt von 643.000 Tonnen CO₂-Equivalent (Peng et al. 2017).

San Francisco

In San Francisco wurde im Rahmen des Projektes SFpark, ein dynamisches Preissystem für on-street Parkplätze eingeführt. Dabei richten sich die Kosten nach der Nachfrage. Je nach Auslastung wurden die Preise stündlich um 0,5 \$ (0,46 €, 22.03.2023) oder 0,25 \$ (0,23 €, 22.03.2023) gesenkt oder um 0,25 \$ angehoben. Dadurch soll gewährleistet werden, dass Parkzonen nicht überlastet werden, sondern nur 60 bis 80 % belegt sind. Dazu wurden Zeitlimits gelockert und Parkenden wurden Informationen zu Preisen und Verfügbarkeit der Stellplätze bereitgestellt. Durch diese Maßnahmen konnte die Parksuchzeit um 43 % und die durch den Parksuchverkehr entstehenden Fahrzeugkilometer um 30 % reduziert werden, dafür wurde die Nutzung von Parkgaragen um 11 % erhöht. Nach der Einführung von SFpark 2011 sind die täglichen verkehrsbedingten THG-Emissionen von 7 Tonnen auf 4,9 Tonnen 2013 gesunken, was einer Reduktion von circa 30 % entspricht, während der Rückgang in den Kontrollgebieten bei nur 6 % lag (SFMTA 2014). Bezüglich der Preiselastizitäten wurde herausgefunden, dass die Nachfrage nach Stellplätzen mit einer Preiselastizität von durchschnittlich -0,4 unelastisch ist und von verschiedenen Faktoren abhängt. Zum Beispiel von der Tageszeit: vormittags, wenn Parkraum zu Arbeits- und Schulzeiten genutzt wird, ist die Nachfrage mit -0,26 weniger elastisch als nachmittags mit -0,51 oder abends mit -0,43, wenn die Stadt eher zu Freizeit Zwecken besucht wird. In Wohngebieten reagiert die Nachfrage schwächer auf Preisänderungen mit -0,21 als in Einkaufsvierteln mit -0,53. Außerdem können, basierend auf den Daten, die von den Sensoren erhoben wurden, weitere Forschung betrieben werden oder weiterführende Apps entwickelt werden, um smartes Parken einzuführen. Die Projektkosten beliefen sich auf ca. 18 Millionen US-Dollar (16,58 Mio. €, 22.03.2023) (Pierce und Shoup 2013).

Weitere Ergebnisse

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität schätzt, dass mit Hilfe von Smart-Parking-Lösungen 0,4 bis 0,9 Millionen Tonnen CO₂ im Jahr durch die Vermeidung von Parksuchverkehr bis 2030 im Vergleich zu 2015 eingespart werden können. Auch der Verband der Automobilindustrie (VDA) schätzt für 2015 die jährliche Einsparung auf 0,5 Millionen Tonnen CO₂ (Bundesregierung 2020).

Kommunikation

Kostenloser Parkraum wird häufig als selbstverständlich gesehen, weswegen auf Maßnahmen wie die Reduktion von Parkraum oder Gebührenerhöhung häufig mit Ablehnung reagiert wird (RWI 2019). In Bezug auf die zu erreichenden Klimaziele ist es aber unausweichlich Verkehr umzugestalten. Neben der Notwendigkeit THG-Emissionen zu reduzieren, bringt PRM weitere Vorteile für Bürger, wie bessere Sicherheit im Straßenverkehr, erhöhte Aufenthaltsqualität in Städten und Wohnvierteln, daher ist es wichtig zum Umdenken anzuregen, indem die Auswirkungen der Maßnahmen und die Vorteile für Besucher, Händler, Bewohner kommuniziert werden. Neben der Kommunikation der individuellen und gesellschaftlichen Vorteile ist es ebenso essenziell für das Gelingen frühzeitig und transparent über die geplanten Maßnahmen aufzuklären, damit die Nutzer über die Einführung Bescheid wissen und darauf reagieren können (Peng et al. 2017; SFMTA 2014; Senatsverwaltung für Umwelt und Verkehr und Klimaschutz 2020). Viele Fahrer unterschätzen die Kosten, die beim Besitz und der Nutzung des Pkw anfallen. Indem auf die Kosten des MIV aufmerksam gemacht wird und funktionierende Alternativen angeboten und beworben werden, kann zum Umstieg auf nachhaltige Verkehrsmittel motiviert werden (RWI; Stiftung Mercator 2020). Bei der Umnutzung von Parkraum können zunächst auch temporäre Umgestaltungen durchgeführt werden, so wurden in Rotterdam Begrünung und Fahrradständer aufgestellt, um die Auswirkungen zu veranschaulichen (Pressl und Rye 2020).

4.5 Räumliche Differenzierung der Klimawirkungen

Widmer und Vrtic (2004) ermittelten eine geringere Elastizität in Kleinstädten: In Frauenfeld, einer Schweizer Gemeinde mit 26.000 Einwohnern, betrug die Elastizität bezüglich der Parkgebühren -0,3, während diese in Zürich mit 400.000 Einwohnern bei -1 lag. Die Autoren begründen dies dadurch, dass in Großstädten zum einen die mittlere Parkgebühren und die Parksuchzeit bereits höherer liegen und Nutzer daher eher dazu bereit sind auf die Autofahrt zu verzichten, anstatt mehr Parkgebühren zu zahlen. Zum anderen existiert in größeren Städten ein besseres ÖPNV-Angebot, sowie attraktive alternative Zielorte, sodass die Nachfrage nach Parkplätzen eher sinkt, da Nutzer auf andere Verkehrsmittel oder Ziele ausweichen können.

Am Beispiel Wien ließ sich erkennen, dass die Elastizität im ersten Bezirk mit -0,26, geringer ist als weiter außerhalb im sechsten Bezirk mit -0,47, das spiegelt den höheren Marktwert der zentralen Stellplätze wider, Personen die direkt im Zentrum parken wollen sind eher bereit mehr dafür zu bezahlen als weiter außerhalb (Hössinger und Uhlmann 2012).

Auch bei den Berechnungen des IFEU (2022) wurde zwischen Stadt und Land differenziert, durch den geringeren Flächenwert ergaben sich auch geringere Kosten für den Parkraum. Während der Flächenwert eines Stellplatzes in der Metropole mit 132 € pro Monat berechnet wird, beträgt dieser Wert außerhalb der Metropole nur 24 €.

4.6 Zusammenfassung Parkraummanagement

Die Stärke der Wirkungen der unterschiedlichen Maßnahmen anhand der Ergebnisse der empirischen Studien einzuordnen, erweist sich als schwierig, da durch die komplexen Wirkungszusammenhänge und gleichzeitige Durchführung verschiedener verkehrlicher Maßnahmen die Wirkung nicht einzelnen Maßnahmen zugeschrieben werden kann. Außerdem erschwert die Verwendung unterschiedlicher Indikatoren und die Verschiedenheit der untersuchten Städte den Vergleich. Auch wenn der Einsatz von Parkraummanagement vor allem in größeren Städten üblich ist, besteht bei der Messung der Auswirkungen weiterhin Forschungsbedarf.

Die Ergebnisse aus der Literatur zeigen, dass die Maßnahmen des Parkraummanagements das Verkehrsverhalten beeinflussen können. Die verschiedenen Ausgestaltungsmöglichkeiten in den Bereichen der Parkraumbewirtschaftung, der Angebotssteuerung und der Informations- und Leitsysteme wirken sich unterschiedlich stark auf verschiedene Nutzergruppen und verschiedene Nachhaltigkeitsziele aus.

Erhöhte Parkgebühren und längere Abgangs- und Suchzeiten, die sich durch Stellplatzreduktion ergeben, senken die Attraktivität für eine Fahrt den privaten Pkw zu nutzen. Wie eine Vielzahl an Forschungen zeigt, wirkt sich dieses deutlich auf den Modal Split aus. Die Rückgänge des Anteils vom Autoverkehr am Modal Split liegen häufig zwischen 1 und 13 Prozentpunkten und des Verkehrsaufkommens zwischen 3 und 24 %. Die Auswirkung auf die Nachfrage zeigt sich durch Elastizitäten zwischen -0,2 und -0,5, in Ausnahmefällen bis -1,2.

Es ist zu beachten, dass die Ergebnisse nicht direkt auf andere Städte übertragbar sind, sondern die Wirksamkeit abhängig von Standort, Stadtstruktur und Nutzergruppen ist. Daher ist es sinnvoll vor der Einführung neuer Parkraummaßnahmen eine Bestands- und Bedarfsanalyse durchzuführen, um zu identifizieren in welchen Bereichen und durch welche Nutzergruppen insbesondere Verkehrsaufkommen verursacht wird, um diese direkt ansprechen zu können und gezielt Alternativen bereitzustellen.

Damit einhergehend sollten die PRM-Maßnahmen transparent und frühzeitig kommuniziert werden. Außerdem ist eine Anpassung der Bußgelder und die Durchführung von Kontrollen relevant, um Falschparken zu verhindern. Die Erhöhung von Parkgebühren ist relativ leicht umzusetzen und mit relativ geringen Kosten verbunden. Die Wirkung wird höher angesehen als die von längeren Suchzeiten durch Stellplatzreduktion.

Häufig haben Parkhäuser oder Tiefgaragen den ganzen Tag über freie Kapazitäten, während der Straßenparkraum überlastet ist. Indem Parkplätze auf öffentlichen Straßenflächen höher bepreist werden als Stellplätze in Parkhäusern oder Tiefgaragen kann der ruhende Verkehr von den Straßen verlagert werden und der Platz effizienter genutzt werden, sowie Parksuchverkehr reduziert werden. Ungenutzte Parkflächen finden sich auch in privater Hand wieder, durch Smart Mobility Apps oder Absprachen mit Unternehmen oder Supermärkten kann hier zusätzliche Kapazität öffentlich zugänglich gemacht werden.

Kurzeitzone sind eine effektive Maßnahme, um die Belegung durch Dauerparker, darunter vor allem Pendler, zu vermeiden. Um als Reaktion einen Umstieg auf einen nachhaltigen Verkehrsträger zu erzielen, anstatt eines Wechsels auf einen anderen Parkplatz, sollten Alternativen zur Anreise mit dem MIV gefördert werden.

Bei der Einführung von Bewohnerparkzonen, wird die Nutzung für andere Nutzergruppen eingeschränkt, dadurch sinkt die Auslastung und Bewohner können mit geringerem Parksuchverkehr Stellplätze finden, da die Kosten jedoch nicht fahrtbezogen sind, sondern in der Regel jährlich gezahlt werden, besteht keine direkte Wirkung auf die MIV-Fahrten. Die Kosten wirken stattdessen auf die Besitzkosten und können langfristig An- oder Abschaffungsentscheidungen privater Pkw

beeinflussen. Außerdem wurde ersichtlich, dass Parkraum deutlich zu günstig angeboten wird und nicht den tatsächlichen Wert abbildet, daher ist eine Erhöhung geeignet, um die Kosten des ruhenden Pkw-Verkehrs sichtbar zu machen. Die höheren Einnahmen können zweckgebunden dafür eingesetzt werden andere Verkehrsmaßnahmen wie der ÖPNV-Ausbau zu finanzieren. Auch die Zweckzuwendung für Carsharing oder Elektromobilität kann auf den Pkw-Besitz Einfluss nehmen.

Zentralisierung durch Mobility Hubs oder Quartiersgaragen und Informations- und Leitsysteme, darunter auch der Einsatz von Smart Mobility können den Parksuchverkehr stark reduzieren.

Um die gesetzten Ziele der CO₂-Reduktion zu erreichen, könnten umfassendere Maßnahmen notwendig sein. Die Entwicklung eines kommunalen Verkehrskonzeptes bietet dabei den größten Handlungsspielraum, um Verkehrsfläche umwidmen zu können, so können autofreie Zonen errichtet werden in denen vorherige Parkflächen begrünt werden können. So kann Aufenthaltsqualität, Flächenverbrauch durch ruhenden Verkehr und Verkehrssicherheit verbessert werden. Außerdem ist die Kombination mit anderen Mobilitätsmaßnahmen notwendig. Neben Push Maßnahmen sollten auch Pull Maßnahmen durchgeführt werden.

Letztlich zeigt sich, dass PRM-Maßnahmen insbesondere den Parksuchverkehr reduzieren können und Fläche für andere Nutzung freimachen können. Darüber hinaus ist aber auch ein Einfluss auf den Modal Split und Pkw-Besitz möglich. Die Auswirkungen sind vor allem innerstädtisch zu verzeichnen, durch Verlagerungseffekte nach außen, kann die Wirkung bei Betrachtung eines weiteren Gebietes geringer ausfallen.

5 Mobilitätspass als Maßnahme zum massiven ÖPNV-Ausbau

Dieses Kapitel untersucht die möglichen Wirkungen eines Mobilitätspasses. Es werden separat die Push und Pull Effekte von drei möglichen Alternativen Bürgerticket, Nahverkehrsabgabe und Straßennutzungsgebühr untersucht. Zunächst werden Methoden und Indikatoren erörtert, um dann die möglichen Wirkungen zu beschreiben. Es folgen modellmäßig berechnete Wirkungen preislicher Maßnahmen auf Klima, Verkehrsgeschehen und öffentliche Finanzen. Im nächsten Abschnitt werden die Push-Wirkungen von Straßennutzungsgebühren am Beispiel Londons, Stockholms, Singapur und in diversen Norwegischen Projekten verglichen. Danach folgen die Pull Wirkungen einer Preisgestaltung im ÖV und der Verbesserung der Angebotsqualität. Ein separater Abschnitt beschäftigt sich mit der Akzeptanz von Push und Pull Maßnahmen bevor zuletzt auf die Differenzierung der Klimawirkungen eingegangen wird.

Mit dem Mobilitätspass soll den Kommunen die Möglichkeit geboten werden, zusätzliche Mittel für den Ausbau des ÖPNV zu generieren und Anreize zu setzen, die Straßen in den Städten und Gemeinden vom Autoverkehr zu entlasten. Grundsätzlich stehen vier Varianten eines Mobilitätspasses, die den Gemeinden zur Auswahl⁹:

- Mobilitätspass für Einwohner (**Bürgerticket**): Alle Einwohner einer Kommune (ggf. differenziert nach Alter, Erwerbstätigkeit oder Haushaltsgröße) leisten verpflichtend einen monatlichen Beitrag. Im Gegenzug erhalten sie Vergünstigungen für die ÖPNV-Nutzung.
- Mobilitätspass für Kfz-Halter (**Nahverkehrsabgabe**): Alle Kfz-Halter in einer Kommune leisten verpflichtend einen monatlichen Beitrag. Im Gegenzug erhalten sie Vergünstigungen für die ÖPNV-Nutzung.
- Mobilitätspass für Kfz-Nutzer (**Straßennutzungsgebühr**): Alle Kfz-Nutzer, die Straßen innerhalb eines bestimmten Gebietes befahren, haben eine Gebühr zu leisten. Deren Höhe kann sich nach der Fahrleistung richten (kilometerabhängige Maut) oder pauschal, beispielsweise für jede Einfahrt in das Gebiet, festgelegt werden (z.B. City-Maut). Als Gegenleistung erhalten die betroffenen Kfz-Nutzer Vergünstigungen für die ÖPNV-Nutzung.
- Eine weitere Möglichkeit wäre eine zweckgebundene **Arbeitgeberabgabe** entsprechend des französischen Modells „versement mobilité“ als Option für den Mobilitätspass geeignet ist. In Frankreich zahlen alle Unternehmen mit mehr als 10 Arbeitnehmern diesen Beitrag in Höhe von 1,6-2,95 % der Gehälter in der Ile de France und bis zu 2,5 % im Rest des Landes. Im Gegenzug könnten die Arbeitgeber je nach Ausgestaltung des Instruments für alle oder eine bestimmte Anzahl ihrer Mitarbeiter die Möglichkeit der ermäßigten oder kostenlosen Nutzung des ÖPNV erhalten (Maaß et al. 2016, S. 58).

Ein Rechtsgutachten für den Mobilitätspass (Wittig und Dietl 2020) ordnet die Abgabe für Einwohner und Kfz-Halter als "Beitrag" ein. Dieses setzt voraus, "dass der Zahlungspflichtige einen Vorteil aus der Leistung hat. Soweit derjenige, der den Beitrag zu entrichten hat, kostenfrei oder kostenvergünstigt den ÖPNV nutzen 'darf', kann eine derartige Abgabe als Beitrag ausgestaltet werden" (S. 9). "Von der Variante der Einführung eines „ÖPNV zum Nulltarif“, so dass auch die nicht beitragspflichtigen ÖPNV-Nutzer einen kostenlosen ÖPNV in Anspruch nehmen können, ist eher abzuraten" (Wittig und Dietl 2020, S. 13).

Der Mobilitätspass für Kfz-Nutzer wird dagegen als Gebühr eingeordnet, weil "eine Mittelverwendung für den ÖPNV ... „auch“ dem besseren Verkehrsfluss auf der Straße und somit auch dem Kfz-Nutzer" dient (S.10). In diesem Fall wäre eine Gegenleistung in Form von Vergünstigungen für den

⁹ Brenck et al (2020) S.31; Fraunhofer ISI: Ergänzungen Arbeitgeberabgabe.

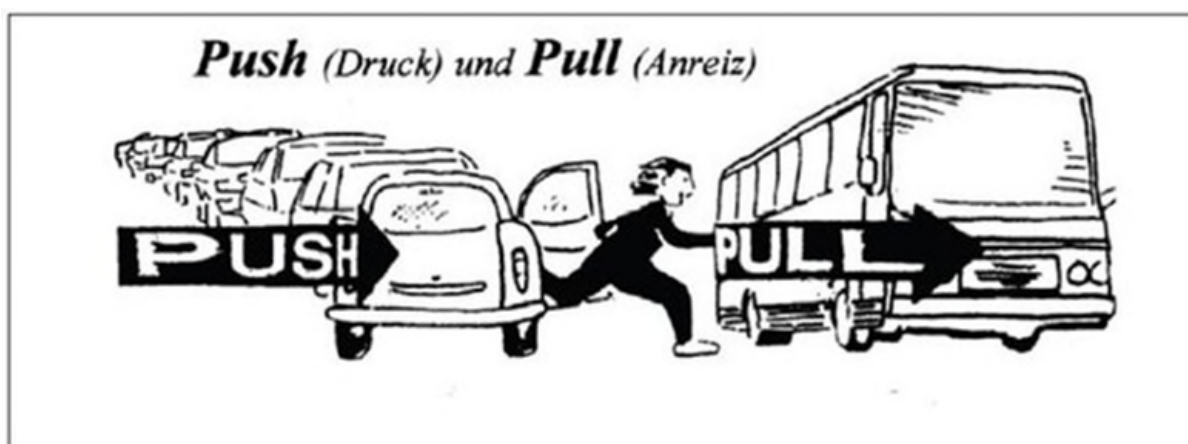
ÖV nicht notwendig. Bei der Ausgestaltung der Gebühren kann "eine Orientierung am Preis für ein Tagesticket des ÖPNV ... hierbei als angemessen angesehen werden" (Wittig und Dietl 2020, S. 15).

Denkbar wäre auch, dass über einen Sozialnachlass z.B. für Empfänger von Arbeitslosengeld II, Auszubildende, Studierende, Kinder und Jugendliche entlastet werden. Offen ist hingegen die Frage, welche Kfz von den Regelungen der Nahverkehrsabgabe und der Straßennutzungsgebühr ausgenommen werden.

5.1 Methoden und Indikatoren zur Messung der Wirkungen

5.1.1 Das Konzept von Push und Pull

Das Konzept von Push und Pull stammt aus der Logistik und dem Marketing¹⁰ und wurde auf die Verkehrsplanung, wie in Abbildung 28 dargestellt, angewendet. Eine Pull Strategie bedeutet, dass der ÖV so attraktiv ausgebaut wird, dass er mehr Kunden anzieht. Dadurch sollen Verkehrsteilnehmer motiviert werden, vom Auto umzusteigen. Eine Push Strategie macht den MIV unattraktiver und induziert damit eine Verkehrsverlagerung. Unter Verkehrsplanern ist allgemein bekannt, dass nur eine Kombination von Push und Pull zu einer erheblichen Reduktion von Autoverkehr führt (Hekler 2022). In der politischen Praxis ist jedoch eine Pull Strategie beliebter, weil diese - im Gegensatz zur Push Strategie - weniger öffentlichen Widerstand erzeugt (Bardal et al. 2020, Eriksson et al. 2008). Der einseitige Fokus aus Pull Maßnahmen ist nicht unproblematisch, weil eine Angebotsausweitung des Öffentlichen Verkehrs nicht automatisch zu einer Reduktion des MIV führt.



Quelle: Müller, P., Schleicher-Jester, F., und TOPP, H. 1992

Abbildung 28: Push und Pull Strategie in der Verkehrsplanung

Für den Mobilitätspass sind insgesamt sechs Varianten (Tabelle 10) denkbar, wenn die Straßennutzungsgebühr in Subvarianten unterteilt wird. Alle unterscheiden sich stark voneinander, was die Zielgruppe, die Erhebungsmethode und die Wirkungen betrifft. Für das Bürgerticket und die Arbeitgeberabgabe werden keine Push-Wirkungen erwartet, weil der MIV durch die Maßnahmen nicht unattraktiver gemacht wird. Für die Straßennutzungsgebühr sind drei Varianten denkbar, die weiter unten im Text diskutiert werden: Vignette, Kordon, gebiets- oder leistungsbezogene Maut.

¹⁰ Im Marketing wird eine Push-Strategie eingesetzt, wenn ein Gut dem Konsumenten unbekannt ist und der Nutzen, den dieses Gut stiftet, dem Kunden erst bekannt gemacht werden muss. Bei der Pull-Strategie versucht das Unternehmen sein Angebot nach der Nachfrage des Konsumenten strategisch auszurichten.

Tabelle 10: Varianten des Mobilitätspasses

	Bürger- ticket	Arbeitgeber- abgabe	Nahver- kehrsab- gabe	Straßennutzungsgebühr			
Varianten				Vignette	Kordon	Gebiet	Leistung
Gebühr pro	Volljäh- rige Bür- ger	Arbeitnehmer in Unterneh- men >10 Be- schäftigte	Kfz in der Gemeinde registriert	Vignette	Einfahrt in Zone	Fahrt in Zone	Fahrzeug- Kilometer
Kontrollauf- wand	gering	gering	gering	mittel	hoch	hoch	sehr hoch
Wirkung	Nur Pull		Push und Pull				

5.1.2 Erwartete Push Wirkungen

Erwartete Wirkungen einer Nahverkehrsabgabe

Die *Nahverkehrsabgabe* ist vergleichbar mit einer Flatrate, die monatlich für die Nutzung eines Automobils erhoben wird, das innerhalb der Kommune registriert ist. Einmal entrichtet, hat sie keinen Einfluss auf die Intensität der Nutzung des Fahrzeugs. Signifikante Push-Wirkungen sind dadurch zu erwarten, dass sich der Fahrzeugbestand reduziert, weil die Kosten für die Haltung durch den Beitrag steigen. Schlaich (2023, S.62) empfiehlt die Wirkungen auf den Motorisierungsgrad über einen Elastizitätenansatz abzuschätzen. Es besteht jedoch die Option die Nahverkehrsabgabe entsprechend der spezifischen CO₂-Emissionen zu staffeln, um die Klimawirkungen zu erhöhen.

Indikatoren für die Push Wirkungen der Nahverkehrsabgabe:

Indikator 1: Pkw-Flotte innerhalb der Gemeinde registriert.

Indikator 2: Zusammensetzung der Fahrzeugflotte und spezifische Emissionen

Indikator 3: Fahrleistung des ÖV

Bei der Nahverkehrsabgabe wird die Gebühr nur für Fahrzeuge, die innerhalb der Gemeindegrenzen registriert sind, erhoben. Dieses kann zu Ausweichverhalten führen, dadurch, dass Einwohner ihr Fahrzeug (illegal) an einem anderen Ort anmelden, an dem keine Gebühr fällig wird.

Darüber hinaus werden einfahrende Fahrzeuge von dieser Gebühr nicht erfasst. Je höher der Anteil der einpendelnden Fahrzeuge am Kfz-Verkehr einer Kommune ist, desto stärker besteht die Gefahr einer wahrgenommenen subjektiven Ungerechtigkeit bei den beitragspflichtigen Einwohnern der Kommune (Maaß et al. 2016, S. 109).

Unklar ist, welche Fahrzeuge von der Regelung ausgenommen werden. Zu berücksichtigen ist dabei insbesondere, ob nur Fahrzeuge privater Halter, die in Baden-Württemberg rund 89 % der Pkw ausmachen, oder auch gewerblich zugelassene Fahrzeuge (in Baden-Württemberg rund 11 % der Pkw bzw. annähernd 100 % der Nutzfahrzeuge) abgabepflichtig sein sollen (Maaß et al. 2016, S. 107). Die Klimawirkungen könnten durch eine Staffelung nach spezifischen CO₂-Emissionen der Fahrzeuge erhöht werden.

Erwartete Wirkungen einer Straßennutzungsgebühr

Im Gegensatz zur Nahverkehrsabgabe kann die Gebühr für alle Fahrzeuge, die innerhalb eines Areals fahren, erhoben werden. Denkbar sind Zonierungen für das ganze Stadtgebiet oder die Innenstadt oder die urbanen Räume der Stadt. Es sind grundsätzlich drei Arten der Gebührenerhebung möglich:

- a) Eine Vignette, die für einen Zeitraum erworben werden muss. Die einfachste Lösung wäre eine Tages-, Wochen-, Monats-, oder Jahreskarte des ÖV, die hinter der Windschutzscheibe platziert werden muss. Es sind aber auch andere Gebührenhöhen mit einer Vignette möglich.
- b) Kordonsystem: Eine Einfahrtgebühr, die bei der Überschreitung der Zonengrenze oder Fahrt innerhalb der Zone erhoben wird. Dieses System wird in Stockholm verwendet. Diese Methode hat den Vorteil, dass Vielfahrer mehr zahlen. Allerdings können sich Fahrzeuge innerhalb der Zone kostenlos bewegen.
- c) Gebietsbezogenen Maut: Die Gebühr wird für jede Fahrt innerhalb der Mautzone entrichtet. Binnenverkehre müssen auch eine Gebühr entrichten; allerdings zahlen Bewohner in der Regel weniger. Dieses System wird in London angewendet. Der Nachteil ist eine aufwändige Kontrolle. In Europa findet diese mittels einer automatischen Registrierung der Nummernschilder durch Kameras statt¹¹. Dazu wird eine RFID-Technologie eingesetzt. Fahrzeuge werden mit einem Transponder mit Code ausgestattet. Auf Chip ist ein Guthaben für die Mautzahlungen gespeichert, das vorab gezahlt werden muss. Sensoren in der Mautzone kontaktieren den Transponder, lesen das Guthaben auf dem Chip und ziehen automatisch den zu zahlenden Mautbetrag ab. Bei Verstoß (kein Transponder / Guthaben unzureichend) wird das Nummernschild fotografiert (Brenck et al. 2020, S. 37).
- d) Leistungsbezogene Maut: Eine fahrleistungsabhängige Gebühr, die über eine On-Board Unit abgebucht wird. Fahrzeuge mit hoher Fahrleistung zahlen daher mehr als jene, die kaum bewegt werden. Diese Methodik wäre das effektivste Verfahren, zumal unterschiedliche Gebühren zonen- und zeitbezogen erhoben werden könnten. Beispielsweise könnten die Gebühren zu Spitzenzeiten in der Innenstadt ein Vielfaches der Gebühren zu Randzeiten in den Außenbezirken betragen. Für die praktische Umsetzung ist entweder die Installation eines On-Board-Units in jedes Fahrzeug notwendig, wie sie für die Lkw-Maut benutzt wird, oder mit Hilfe einer mobilen Applikation auf dem Smartphone des Nutzers, über die Erfassung und Übermittlung der Positions-Daten (Knie und Canzler 2020, S. 11).

Da die Kontrolle der letzten drei Methoden aufwändig ist, und datenschutzrechtliche Fragen geklärt werden müssen, **bleibt aus praktischen Erwägungen nur die Vignettenlösung übrig.**

Mögliche Optionen für die Gestaltung der Gebühr

Ähnlich wie bei der Nahverkehrsabgabe könnten die Wirkungen durch eine Staffelung der Gebühren nach CO₂-Emissionen erhöht werden. Die Option einer zeitlichen Staffelung der Gebühren nach Verkehrstagen und der Tageszeit (Hauptverkehrszeit, Nebenverkehrszeit) wäre auch eine Option, wenn unterschiedliche Vignetten erworben werden müssten.

Eine Einschränkung besteht darin, dass die Straßennutzungsgebühr aus rechtlichen Gründen nicht auf Bundesstraßen erhoben werden darf. In Anbetracht der Tatsache, dass jedoch nur die Vignettenlösung in Frage kommt, wird diese Einschränkung in der Praxis keine Auswirkungen haben.

¹¹ <https://urbanaccessregulations.eu> https://www.cityoflondon.police.uk/advice/advice-and-information/rs/road-safety/automatic-number-plate-recognition-anpr/?__cf_chl_tk=K3Gx1jSMWWLOiPnkKG8uS2kEx8l.ttbR1z2LQL5VNFE-1664203951-0-gaNycGzNCJE (September 2022)

Zur Frage, welche Fahrzeuge von der Regelung ausgenommen werden, siehe die Anmerkungen oben.

Positive Reaktionen der Nutzer

Der Fahrzeugnutzer kann entweder die Anzahl seiner Fahrten senken oder das Fahrzeug abschaffen, was einer Absenkung der Fahrten auf null gleichkommt. Eine weitere positiv zu wertende Ausweichreaktion wäre die Bildung von Fahrgemeinschaften, die den Besetzungsgrad im Pkw-Verkehr erhöhen und damit die CO₂-Emissionen senken.

Negative Reaktionen der Nutzer

Die Vignettenlösung kann zu einer Vielzahl von Ausweichreaktionen und Verhaltensanpassungen führen, die negativen Einfluss auf die Klimawirkungen haben. Aufgrund einer veränderten Zeitwahl kann vor allem die Durchführung von Nicht-Pflichtaktivitäten (Freizeit, Einkauf, private Erledigung) auf andere Orte außerhalb des bepreisten Gebietes verlagert werden. Dieses trifft sowohl für die Einwohner als auch für die Pendler in das bepreiste Gebiet zu. Weil diese Ausweichreaktionen die Befürchtungen lokaler Geschäfte und Unternehmen im Freizeitbereich besonders betreffen, ist eine empirische Analyse der Ausweichreaktionen von besonderer Bedeutung.

Eine weitere Ausweichwirkung wird sich auf die Routenwahl beim Durchgangsverkehr auswirken. Der Durchgangsverkehr durch das bepreiste Gebiet kann zurückgehen und das Gebiet umfahren werden (Schlaich 2023, S. 62). Diese Ausweichreaktion würde zwar die lokalen Emissionen reduzieren, aber die globalen Emissionen durch längere Fahrten erhöhen.

Indikatoren für die Push Wirkungen der Vignettenlösung:

Indikator 1: Anzahl Fahrten in dem bepreisten Gebiet

Indikator 2: Durchschnittliche Fahrtlänge innerhalb des Gebietes

Indikator 3: Zusammensetzung der Fahrzeugflotte

Indikator 5: Delta der Länge von "Ausweichfahrten"

Indikator 6: Delta der Länge von Umwegfahrten um das Gebiet

Indikator 7: Fahrleistung des ÖV

5.1.3 Erwartete Pull Wirkungen

Alle Varianten des Mobilitätspasses entfalten Pull Wirkungen durch das Mobilitätsguthaben und die Qualitätsverbesserungen des ÖPNV (Tabelle 11). Das Bürgerticket und die Nahverkehrsabgabe müssen aus rechtlichen Gründen (Wittig und Dietl 2020) ein Mobilitätsguthaben für die Beitragszahler beinhalten. Auch für die Kfz-Nutzer gibt es diese Option, die aber nicht rechtlich zwingend notwendig ist. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die Höhe der Tarife so hoch angesetzt werden muss, dass finanzielle Mittel zur Verbesserung des ÖPNV zur Verfügung stehen, "um die Äquivalenz zwischen den Kosten des Bürgertickets für den Einzelnen und dem ÖPNV-Angebot herzustellen" (Maaß et al. 2016, S. 54). Diese dienen nicht nur der Befriedigung der erhöhten Nachfrage, sondern beinhalten auch eine Verbesserung der Angebotsqualität. Tabelle 11 stellt dazu Fallbeispiele zusammen. Die grundsätzlichen Optionen sind ebenfalls in der Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Übersicht über Pull-Maßnahmen

Mobilitätsguthaben	Qualitätsverbesserungen im ÖPNV
Vergünstigter Fahrpreis oder kostenlose ÖPNV-Nutzung (ggf. zu bestimmten Zeiten und/oder räumlich beschränkt)	Neu- und Ausbau von ÖV-Linien
Vergünstigter Preis für Zeitkarten	Taktverdichtung bestehender Linien
Guthaben (ggf. mit beschränkter Gültigkeitsdauer, z.B. 1 Monat)	Steigerung des Komforts der Fahrzeuge und Haltestellen

Durch den Mobilitätspass erhalten auch Menschen ein Guthaben, die bisher nicht den ÖPNV genutzt haben, dadurch werden die Nutzungsbarrieren für den ÖPNV deutlich reduziert und sie werden dadurch zum Umsteigen vom Kfz motiviert. Dieses wird durch die günstigeren ÖPNV-Tarife und die Qualitätsverbesserungen noch weiter verstärkt. Dieser positiven Wirkung stehen erhöhte CO₂-Emissionen durch induzierte Verkehre und Verlagerung vom Rad- und Fußverkehr gegenüber, die aufgrund des verbesserten Angebotes generiert werden (Tabelle 12).

Tabelle 12: Mögliche Pull Wirkungen des Mobilitätspasses

Wege ohne Mobilitätspass	Verkehrliche Reaktion	CO ₂ Emissionen
Kfz	Verlagerung auf ÖPNV Verlagerung auf Rad/Fuß	Abnahme
ÖPNV	Keine Änderung	Keine Wirkung
Rad/Fußverkehr	Verlagerung auf ÖPNV	Zunahme
Keine Wege	Induzierter Verkehr im ÖV	Zunahme

Ex-ante Berechnungen müssen anhand eines Verkehrsmodells vorgenommen werden. Ex-post Bewertungen können einfacher anhand des Verkehrsgeschehens erfolgen. In Anbetracht der unterschiedlichen Wirkungsrichtungen sind die Indikatoren entsprechend zu konzipieren.

Indikatoren für die Pull-Wirkungen des ÖV

Indikator 1: Fahrleistung der Pkw

Indikator 2: Fahrleistung ÖPNV

5.2 Modellmäßige Berechnungen der Wirkungen

Dieses Kapitel beschreibt Beispiele für modellmäßige Berechnungen von preislichen Maßnahmen im Verkehr.

Für die modellmäßigen ex-ante Berechnungen der Wirkungen von preislichen Maßnahmen werden in der Regel Preiselastizitäten der Nachfrage verwendet. Diese beschreiben die Verhaltensände-

rung, die eintritt, wenn sich der Preis um eine Einheit erhöht. Schlaich (2023, S. 63) geht beispielsweise von einer Preiselastizität von $-0,2$ für die Pkw-Fahrleistung aus, d.h. wenn der Preis pro Kilometer um 100 % steigt, geht die Fahrleistung um 20 % zurück. Die Elastizitäten können entweder modellmäßig berechnet werden oder stammen aus empirischen Untersuchungen. Eine Zusammenstellung der Preiselastizitäten aus der Literatur findet sich in Abschnitt 2.4.

Schlaich (2023, S. 63) liefert ein Beispiel für die Wirkung einer City Maut: "Um eine messbare Wirkung zu erzielen, sind relativ hohe Straßenbenutzungsgebühren erforderlich. Damit die Pkw-Fahrleistung um etwa 10 % zurückgeht, ist bei einer Elastizität von $-0,2$ eine Erhöhung der Nutzungskosten um 50 % erforderlich. Das entspricht bei einer netzweiten Maut einem Kilometerpreis von ca. 0,06 €/km. Eine Citymaut müsste etwa 4 bis 6 € pro Tag betragen." Eine Übersicht über die Wirkungen von Straßenbenutzungsgebühren findet sich in Kapitel 2.4.1.

5.2.1 Die Preisliche Wirkungen des Klimaschutzszenarios 2030 in BW

Im Rahmen des im Klimaschutzszenarios 2030 in BW untersuchen ITP et al. (2017a, S. 239) die Wirkungen folgender preislicher Maßnahmen im Pkw-Verkehr: Verdoppelung der Parkkosten gegenüber 2010, Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung auf Stadtränder und Mittelzentren und einer 50 % Steigerung der Pkw Kosten. Die Verkehrsleistung mit Pkw sinkt um 10 %, während der ÖV und der Radverkehr um jeweils 17-20 % ansteigt. Die Übertragbarkeit auf den Mobilitätspass ist begrenzt, da es sich um eine Kombination von Maßnahmen handelt und darüber hinaus sich auf das ganze Land BW bezieht.

Tabelle 13: Wirkungen preislicher Veränderungen im Klimaschutzscenario 2030 BW

Modus Maßnahme	Veränderung der Verkehrsleistung (Pkm)	
	Nutzerkosten +50 % +Verdopplung Parkgebühren	Nutzerkosten +94 %
MIV	-10,2 %	-19,1
Bahn	19,8 %	48,8
ÖSPV	15,6 %	54,5
Motorisierter Verkehr	-3,6 %	-8,2
Rad	17,3 %	49,0
Fuß	4,2 %	19,3
Gesamt	-2,9 %	-6,3

Quelle: ITP et al. (2017a) S. 248, S.344

ITP et al. (2017a) berechnen, dass im Klimaschutzscenario 2030 die Pkw Fahrleistungen insgesamt um 19 % ggü. dem BVWP Szenario abnehmen müssen. Um diesen Effekt allein mit preislichen Maßnahmen zu erreichen, müssten die Kfz-Nutzerkosten um 94 % erhöht werden, was einer Elastizität von -0,2 entspricht (Tabelle 13). Umgerechnet auf die Fahrleistung wäre das ein Anstieg um "knapp 16 Cent/km, was der Höhe einer evtl. Straßenbenutzungsgebühr entspräche". Umgerechnet auf den Preis für eine Tonne CO₂ würde diese 1.145 € kosten. "(ITP et al. (2017a, S. 343). Diese Annahmen zeigen, wie stark die geplanten Maßnahmen sein müssten, um die Klimaziele zu erreichen. Beispielsweise wird auf Bundesebene momentan eine Maut von 5 Cent/Fzg-km diskutiert und der CO₂ Preis schwankte an der Frankfurter Börse in den vergangenen 12 Monaten zwischen 65 und 100 € pro Tonne.

Die Berater ITP et al. (2017a, S. 248) gehen darüber hinaus von einer (landesweiten) Konstanz des Pkw-Bestands gegenüber 2010 aus. Im Vergleich zu den Annahmen des Bundesverkehrswegeplans entspricht das einer Absenkung um 12 %. Auf Grund der hohen Bedeutung des Pkw-Bestands für den Individualverkehr reduziert sich dessen Verkehrsaufkommen um 9 %. Da die kürzeren Fahrten überproportional reagieren, vermindert sich die Verkehrsleistung nur um 6,5 %. Mehr als die Hälfte davon wird vollständig unterlassen, der übrige Teil also verlagert, und zwar auf alle anderen Verkehrsarten. Auch hier gehen die Berater davon aus, dass erhebliche Maßnahmen ergriffen werden müssen, die den Pkw Verkehr unattraktiver machen, denn es gilt dem bundesweiten Trend einer Zunahme der Motorisierung entgegenzuwirken. Der Pkw-Bestand erhöhte sich in den letzten 10 Jahren um 12 % von 43,4 Millionen auf 48,8 Millionen Fahrzeuge.

5.2.2 Wirkungen von preislichen Maßnahmen in der Schweiz

In dem Forschungsprojekt "Mobility Behavior in Switzerland" (MOBIS, Axhausen et al. 2021) wird die Wirkung der personalisierten Anlastung aller externer Kosten im Verkehr untersucht. Dafür wurden die Fahrten der Studienteilnehmer mittels einer Smartphone-App erfasst, auf deren Basis die zugehörigen externen Kosten berechnet wurden. Die Bepreisung wurde umgesetzt, indem einem Drittel der Teilnehmer ein Transportbudget zur Verfügung gestellt wurde, dem die durch ihre Fahrten verursachten externen Kosten angelastet wurden. Um den finanziellen Anreiz einer Bepreisung zu simulieren, durften die Teilnehmer alle Einsparungen, die sich aus der Änderung ihres Reiseverhaltens ergaben, für sich behalten. Das Experiment fand eine Elastizität von -0,31 für die Bepreisung

mit den externen Kosten¹². Die Preisgestaltung führte nicht zu einer signifikanten Verringerung der täglichen Gesamtdistanz, aber es gibt eine erhebliche Reduktion der täglichen Distanz mit dem Auto, die durch eine Zunahme des öffentlichen Verkehrs sowie des Radfahrens und des Zufußgehens ausgeglichen wird.

Eine weitere Studie untersucht die Reduktion von Verkehrsüberlastungen in der Schweizer Region Zug (INFRAS 2019). Dafür wurden die Effekte einer Kilometerabgabe für den Personenverkehr auf Straße und Schiene mit unterschiedlichen Tarifen in Gebieten mit Verkehrsüberlastungen zu Spitzen- und Randzeiten anhand der Beispielregion Zug analysiert. Die Kilometerabgabe ersetzt indirekte Steuern, Abgaben und Einheitstarifen. Damit wird nicht mehr, sondern anders bezahlt. Zwar konnten die Verkehrsspitzen signifikant entlastet werden, die Wirkungen auf Verkehrsverlagerung und Umwelt waren jedoch gering. Die Treibhausgasemissionen werden im Untersuchungsgebiet Kanton Zug insgesamt um rund 6 % reduziert (INFRAS 2019, S. 18)

5.2.3 Finanzielle Wirkungen des Mobilitätspasses in BW

Eine wesentliche Determinante der Wirkungen ist die Höhe der Beiträge und Gebühren, die wiederum die verfügbaren Mittel für den ÖPNV bestimmen. Während Bund und Land beim Investitionsbedarf erheblich beitragen, müssen Kommunen die zusätzlichen Betriebskosten tragen. Ziel des Mobilitätspasses ist es, die Finanzierung langfristig verlässlich und selbst steuerbar zu gestalten. Tabelle 14 stellt die unterschiedlichen Berechnungsmethoden für die Mobilitätspass-Varianten zusammen und listet unten auch die dazu erforderlichen Annahmen auf. Erläuterungen zu der Methodik finden sich in den weiteren Abschnitten.

Tabelle 14: Berechnungen der Einnahmen verschiedener Mobilitätspass Varianten

Mobilitätspass	Berechnung
Bürgerticket*	Anzahl Bürger > 18 Jahre * Gebühr
Nahverkehrsabgabe	Anzahl Fahrzeuge in der Kommune * Beitrag
Straßennutzungsgebühr**	Anzahl Vignetten * Gebühr
Arbeitgeberabgabe**	0 bis 2,95 % der Gehälter, Unternehmen > 10 Beschäftigte
Annahmen: * Nur erwachsene Bürger zahlen die Gebühr ** Keine Fahrleistungsabhängigen Gebühren ***Model gemäß versement mobilité, Frankreich	

Für die Gestaltung der Höhe der Gebühren sind die folgenden Determinanten von Bedeutung:

- Einnahmen sollten die Kosten für die vergünstigte Abgabe von Tickets übersteigen, damit Mittel zum Ausbau des ÖPNV zur Verfügung stehen.
- Finanzielle Belastung der Bürger, der Autobesitzer oder Autofahrer (je nach Variante)

Brenck et al. (2020) setzten in ihren Berechnungen den monatlichen Beitrag, je nach gewähltem Beispiel für das Bürgerticket zwischen 10 und 30 €/Einwohner und für die Nahverkehrsabgabe zwischen 30 und 57 €/Kfz fest (Tabelle 15). Die beispielhaften Gebühren für die Straßennutzung liegen im Monat zwischen 20 und 60 € pro Nutzer.

¹² Der Effekt wurde hauptsächlich von jenen Teilnehmern erzeugt, die die Definition von "externe Transportkosten" korrekt verstanden.

Brenck et al. (2020) berechnen die finanziellen Auswirkungen des Mobilitätspasses anhand von vier Beispielregionen in BW: Bad Säckingen, Mannheim/Heidelberg, Stuttgart und Tübingen. In den Berechnungen werden von den Einnahmen (bestehend aus der Abgabe und zusätzlichen Fahrgeldeinnahmen) die Ausgaben für das Mobilitätsguthaben, Vertriebs- und Verwaltungskosten, die Kosten Mindest-Angebotssteigerung abgezogen, um die freie Mittel für Mobilitätsmaßnahmen zu berechnen.

Selbst wenn eine volle Rückvergütung der Gebühren durch ÖV-Ermäßigungen angenommen wird, können sowohl beim Bürgerticket, als auch bei der Nahverkehrsabgabe erhebliche Einnahmen erzielt werden, die für die Verbesserung des ÖV in der Gemeinde zur Verfügung stehen (Tabelle 15). Da die Mittel je nach Stadtgröße schwanken, macht ein Vergleich pro Einwohner Sinn, welcher zeigt, dass bei einem Bürgerticket von monatlich 30 € zwischen 238 und 291 €/Einwohner jährlich zur Verfügung stehen könnten. Diese Mittel verändern sich fast proportional zu der Gebührenhöhe.

Die Einnahmen durch eine Nahverkehrsabgabe sind erheblich geringer. Um ähnlich hohe Einnahmen durch Zahlungen der Kfz-Halter zu erzielen, müssten die monatlichen Gebühren um das 2 bis 5-fache steigen. Die unterschiedlichen Einnahmen der Gemeinden erklären sich vor allem durch den variierenden Motorisierungsgrad.

Brenck et al. (2020, S. 102) untersuchen auch die finanziellen Wirkungen eine Straßennutzungsgebühr, die bei 8 € pro Tag oder 25 € pro Woche oder 60 € pro Monat liegt. Die verfügbaren Einnahmen liegen zwischen denen des Bürgertickets und der Nahverkehrsabgabe.

Tabelle 15: Freie Mittel für Mobilitätsmaßnahmen durch einen Mobilitätspass mit voller Rückvergütung der Gebühr.

Stadt	Gebühr €/Monat	Insgesamt [Mio. €/a]		Pro Einwohner [€/a]	
		Bürgerticket	Nahverkehrs- abgabe	Bürgerticket	Nahverkehrsab- gabe
Stuttgart	40 €	209	121	334	194
	30 €	157	91	250	145
	20 €	104	60	165	96
Heidelberg- Mannheim	40 €	155	83	330	175
	30 €	119	63	252	133
	20 €	81	42	172	90
Tübingen	40 €	29	6	316	70
	30 €	22	5	238	53
	20 €	15	3	159	35
Bad Säckingen	40 €	7	1	382	80
	30 €	5	1	291	63
	20 €	3	1	194	40

Quelle: Brenck et al. 2020, S. 93

Tabelle 16 stellt einige Optionen für die Verwendung der eingenommenen Mittel dar und zeigt damit, dass mit dem Mobilitätspass erhebliche Verbesserungen beim ÖV finanziert werden können. Im Gutachten wird allerdings deutlich gemacht, dass es sich um eine Abschätzung handelt. Nicht berücksichtigt wurde, wie genau eine Angebotsausweitung im ÖV vor Ort aussehen soll, welche tageszeitliche Verteilung die zusätzliche Nachfrage hat und der Anteil der Transitfahrten.

Tabelle 16: Mögliche Verwendungen der Einnahmen eines Mobilitätspasses

Stadt	Bürgerticket	Nahverkehrsabgabe	Nutzen
Bad Säckingen	10 €	30 €	Taktverkehr Innenstadt plus On-Demand-Verkehr Stadtteile
Mannheim/Heidelberg	30 €	40 €	Nulltarif im Stadtverkehr für Einwohner + Ausbau*
Tübingen	17 €	57 €	Nulltarif im Busverkehr für alle, + Ausbau*
Stuttgart	20 €	30 €	100 Mio. € zusätzlich für Ausbau des Angebots

*inkl. Angebotsausweitung. Erläuterung: Der Nulltarif erfordert jeweils eine Ausweitung des Angebots. Dies ist in der Berechnung berücksichtigt.

Quelle: Öhmann 2022 auf Basis von Brenck et al. 2020

5.2.4 Finanzielle Wirkungen einer City Maut in Berlin

Knie und Canzler (2020) machen einen Vorschlag für ein Reallabor zu einer City Maut in Berlin. Die Höhe der Tarife sollen sich an den Zeittarifen des Öffentlichen Personennahverkehrs in Berlin orientieren. Je nach Mautsystem und Mautzone sowie Ausnahmeregelung liegen die prognostizierten Einnahmen zwischen rund 300 Mio. € und 1.160 Mio. € pro Jahr. Die Reaktionen der Nutzer werden nicht abgeschätzt.

Tabelle 17: Vorschlag für ein Mautsystem in Berlin

Tarif	Tarifhöhe		Parken	Einnahmen [Mio €/Jahr]	
	Umweltzone	Berlin		Umweltzone	Berlin
Zeitlich	6,51 €/Tag	8,28 €/Tag	2 €/Std	600	1.000
Distanz	0,15 €/km	0,19 €/km		300	1.160

Quelle: Knie und Canzler 2020

5.3 Empirische Erkenntnisse aus Verkehrsprojekten

Dieses Kapitel beschreibt die empirischen Erkenntnisse aus Verkehrsprojekten über die Wirkungsmechanismen von Push und Pull Maßnahmen.

5.3.1 Push Wirkungen von Nahverkehrsabgabe und Straßennutzungsgebühren

Weltweit gibt es 18 Städte, in denen eine Straßenmaut erhoben wird. Im Anhang 8 befindet sich eine Übersicht über die wichtigsten Merkmale diese Mautsysteme, Tabelle 18 listet ausgewählte Mautsysteme in Europa auf. Die Systeme befinden sich in Städten mit sehr unterschiedlicher Einwohnerzahl von 37.000 in Haugesund bis 9,5 Millionen in London. Acht Systeme erheben eine Maut ausschließlich für das Stadtzentrum; in Norwegen fallen die Gebühren an der Gemeindegrenze an und im Stadtstaat Singapur wird an hoch frequentierten Straßen eine elektronische Maut erhoben.

Die Gebühren werden ausschließlich für die Einfahrt in die Zone erhoben und nicht pro Kilometer. Sie variieren meist je nach Tageszeit und Wochentag. Die höchsten Einfahrtgebühren werden in London mit umgerechnet 15 € erhoben. London ist jedoch eine Ausnahme, in der Regel beträgt die Mautgebühr zwischen 1,20 € zu Tagesrandzeiten und 5 €. Der preisliche Aufschlag zu Spitzenzeiten variiert in Norwegen stark zwischen 30 % und 150 %.

Von der Maut werden einige Personen oder Fahrzeuggruppen ausgenommen. In London sind beispielsweise Menschen mit Behinderungen, Busse, Pannenhilfen, Abschleppdienste ausgenommen¹³. Abschläge gibt es dort auch für Niedrigemissionsfahrzeuge mit Batterie oder Brennstoffzellenantrieb. In Norwegen zahlen Elektrofahrzeuge grundsätzlich eine geringere Maut, die Preisdifferenz zu konventionellen Fahrzeugen ist jedoch zu Spitzzeiten deutlich geringer als zu Tagesrandzeiten.

Tabelle 18: Auswahl von Mautsystemen in Europa

Stadt	Einwohner	Einfahrtsgebühr*	Kosten pro Fzg.-km**
London (UK)	8.962.000	18 €	3,60 €
Stockholm (S)	995.000	9,40 - 11,60 €	0,12 - 0,50 €
Oslo (N)	700.000	1,10 - 4,50 €	0,58 - 0,75 €
Göteborg (S)	573.000	0,90 - 2,20 €	0,23 - 0,55 €
Bergen (N)	287.000	2,00 - 7,00 €	0,11 - 0,38€
Durham (UK)	66.000	2,38 €	2,98 - 7,90 €

* Variiert nach Tageszeit und Emissionsklasse
 ** Schätzung der Distanzen für Hin-und Rückfahrt von der Zonengrenze ins Stadtzentrum

Straßenbenutzungsgebühren können Anreize für eine Verlagerung auf nachhaltigere Verkehrsmittel oder gemeinsam genutzte Fahrzeugdienste schaffen. Damit dies funktioniert, ist ein qualitativ hochwertiges Angebot an alternativen Verkehrsdiensten erforderlich sowie Anreize zu deren Nutzung. Beria (2016) fassen die Studien von fünf Städten¹⁴ zusammen und schätzen die Verringerung der Treibhausgasemissionen auf 2,5 % bis 22 %, und die Verringerung des Verkehrsaufkommens auf 10 % bis 44 % (Singapur).

Es ist zu beachten, dass bei der Bewertung der Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen auch die sekundären Effekte von Mautsystemen berücksichtigt werden müssen. So können beispielsweise der Straßenverkehr und die damit verbundenen CO₂-Emissionen auf Straßen außerhalb der Mautzone zunehmen, da die Fahrer versuchen, die Gebühren zu umgehen. Sie könnten auch bereit sein, längere Umwege in Kauf zu nehmen, um Gebühren zu vermeiden, was die Gesamtverkehrsleistung erhöht¹⁵.

¹³ <https://tfl.gov.uk/modes/driving/congestion-charge/>

¹⁴ Göteborg, Mailand, Singapur, London, Stockholm

¹⁵ <https://www.itf-oecd.org/transport-climate-action-directory-measures>

5.3.1.1 London Congestion Charge

Das Londoner Straßenbenutzungsgebührensysteem reduzierte die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs um 16 % innerhalb der Mautzone und um etwa 1 % für ganz London¹⁶. Eine City Maut in Höhe von 5 £ wurde 2003 für das Stadtzentrum von London eingeführt. Im Vergleich zu dem Vorjahr sank die Zahl der einfahrenden Pkw, Lieferwagen und Lkw um 27 %, die der Pkw sogar um 33 %, was etwa 65.000-70.000 jährlichen Fahrten entspricht (Leape 2006, S. 165). Transport for London (2005) schätzte auf der Grundlage von Erhebungen, dass etwas mehr als die Hälfte dieser Fahrten durch öffentliche Verkehrsmittel ersetzt wurden; etwa ein Viertel der Fahrten wird nun um die Gebührenzone herumgeführt. Etwa 10 % stiegen auf andere private Verkehrsmittel um, vor allem auf Taxis und Fahrräder; und etwa 10 % haben entweder ihre Fahrten eingestellt oder auf Fahrten außerhalb der Gebührenszeiten verlegt.

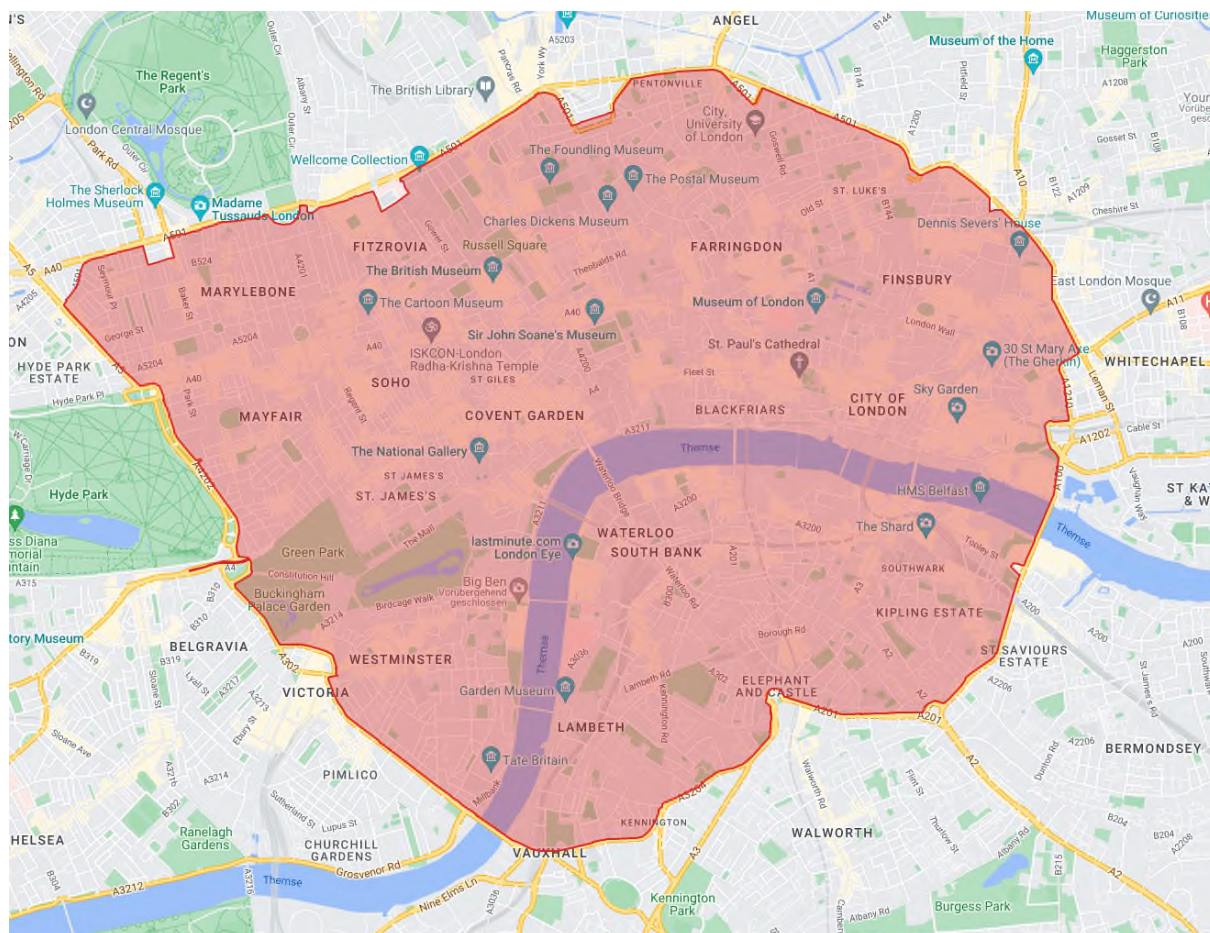


Abbildung 29: Gebührenzone für London Congestion Charge im Jahr 2022

Die Wirkung der Maut auf die Fahrleistungen war in der gleichen Größenordnung (Pkw -34 %) wie das oben beschriebene gesunkene Aufkommen (Transport for London 2005, S.29). Die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit auf den Straßen innerhalb der Gebührenzone zeigt, dass die Auswirkungen der Maut beträchtlich waren. Die durchschnittliche Tagesgeschwindigkeit im Straßennetz stieg von einem Durchschnitt von 14,3 km/h vor der Einführung der Maut auf 16,7 km/h im Mai/Juni 2003 (Leape 2006, S. 166).

¹⁶ <https://www.itf-oecd.org/transport-climate-action-directory-measures>

2007 wurde die Gebührenerhebung auf den Westen Londons ausgeweitet und enthielt die zusätzlichen Stadtteile Westminster, Kensington und Chelsea. Während der Verkehr im Zentrum der Stadt unverändert blieb, nahm die Fahrleistung von gebührenpflichtigen Fahrzeugen um 11 % ab (Transport for London 2008). Nach der Wahl von Boris Johnson zum Bürgermeister Londons wurde die Erweiterung im Jahr 2011 wieder rückgängig gemacht.

Im Jahr 2022 betragen die Gebühren für eine Fahrt innerhalb der Gebührenzone 15 £ (17 €). Von der Gebühr sind Taxis, Dreiräder, Abschleppdienste und Fahrzeuge, die Menschen mit Behinderungen transportieren ausgenommen. Bewohner erhalten einen Discount von 90 %.

Im Zeitraum seit der Einführung bis 2017 sank der Anteil der Pkw am Modal Split (Wege) von 46 % auf 36 % während gleichzeitig die Anzahl der zurückgelegten Fahrten mit Bussen und Taxen im zentralen Bereich Londons + 20 % zunahm (Roth 2009, A1 S.25).

5.3.1.2 Stockholm

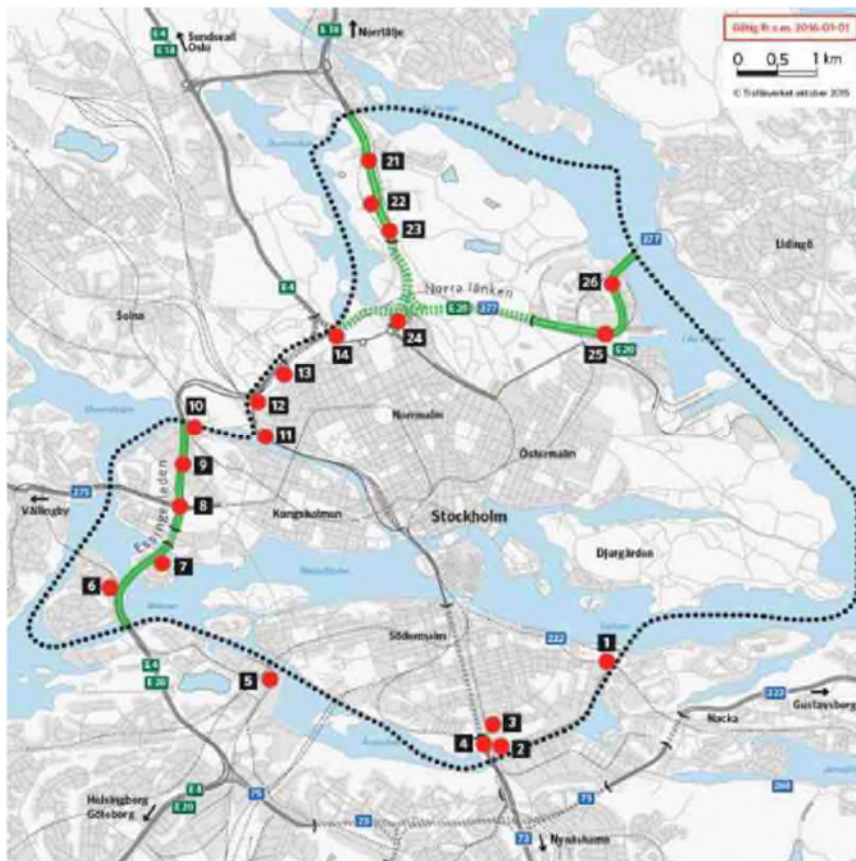
Das Stockholmer System wurde im Januar 2006 eingeführt und ist als Mautkordon um die Innenstadt herum konzipiert (gestrichelte Linie in Abbildung 30). Die Gebühren werden pro Ein- und Ausfahrt erhoben, schwanken zeitabhängig zwischen 1,50 bis 4,50 € und werden werktags von 6:00-18:30 Uhr erhoben¹⁷. Die Fahrzeuge werden beim Überqueren der Absperrung in beide Richtungen belastet. Seit Januar 2016 wird auch auf der Umgehungsstraße Essinge (E4/E20), einer stark befahrenen Autobahn westlich des Stockholmer Stadtzentrums, eine Gebühr erhoben. Die Lage der Kontrollstellen ist in Abbildung 30 dargestellt, wobei die Umgehungsstraße von Essinge grün eingezeichnet ist. Die E4/E20 war bis 2016 aus dem ursprünglichen Gebührensystem von 2006 ausgeklammert. Von der Gebühr sind ca. 15 % der Verkehre befreit, vor allem Busse und Zweiräder (Börjesson und Kristoffersson 2018).

Nach der Einführung der Maut ging das Verkehrsaufkommen innerhalb des Kordons sofort zurück, was zu einer drastischen Verringerung der Verkehrsüberlastung in der gesamten Stadt führte. Nach einigen Wochen stabilisierte sich der Rückgang des Verkehrsaufkommens im Vergleich zu 2005 bei etwa 22 %, was zu einer Verringerung der Stauungen um 30-50 % führte (Eliasson 2014).

Ebenso wie in London verlagerte sich etwa die Hälfte der Pkw- Fahrten auf den ÖV (Hagen und Reining 2019, S. 38) und dessen Anteil am Modal Split (Wege) wuchs um 3–6 % (Batty et al. 2015, S. 115). Die Zahl der Passagiere im Schienenverkehr wuchs um ca. 40.000 pro Tag und in den Bussen um 25.000, was einer Steigerung von 9 % entspricht. In der morgendlichen Spitzenstunde (7:30 h bis 8:30 h) wurden knapp 5.500 zusätzliche Passagiere (+ 13 %) in der U-Bahn gezählt, im Busverkehr ca. 3.000 (+ 28 %) (Roth 2009, A1-8). Die CO₂-Emissionen sanken im Mautgebiet um 14 % (Kretzler 2008) und in der gesamten Metropolregion um 2-3 % (Eliasson 2014).

Als vorbereitende Maßnahme für den City-Maut-Versuch wurden 2.800 neue Park-und-Ride-Plätze im Stadtgebiet und Verwaltungsbezirk Stockholm eingerichtet. Das P+R-Angebot war während des Mautversuchs für Dauerkartenbesitzer für den ÖPNV kostenlos (Roth 2009, A1-8).

¹⁷ <https://www.transportstyrelsen.se/en/road/road-tolls/Congestion-taxes-in-Stockholm-and-Goteborg>



Quelle: Börjesson und Kristoffersson 2018

Abbildung 30: Mautsystem in Stockholm

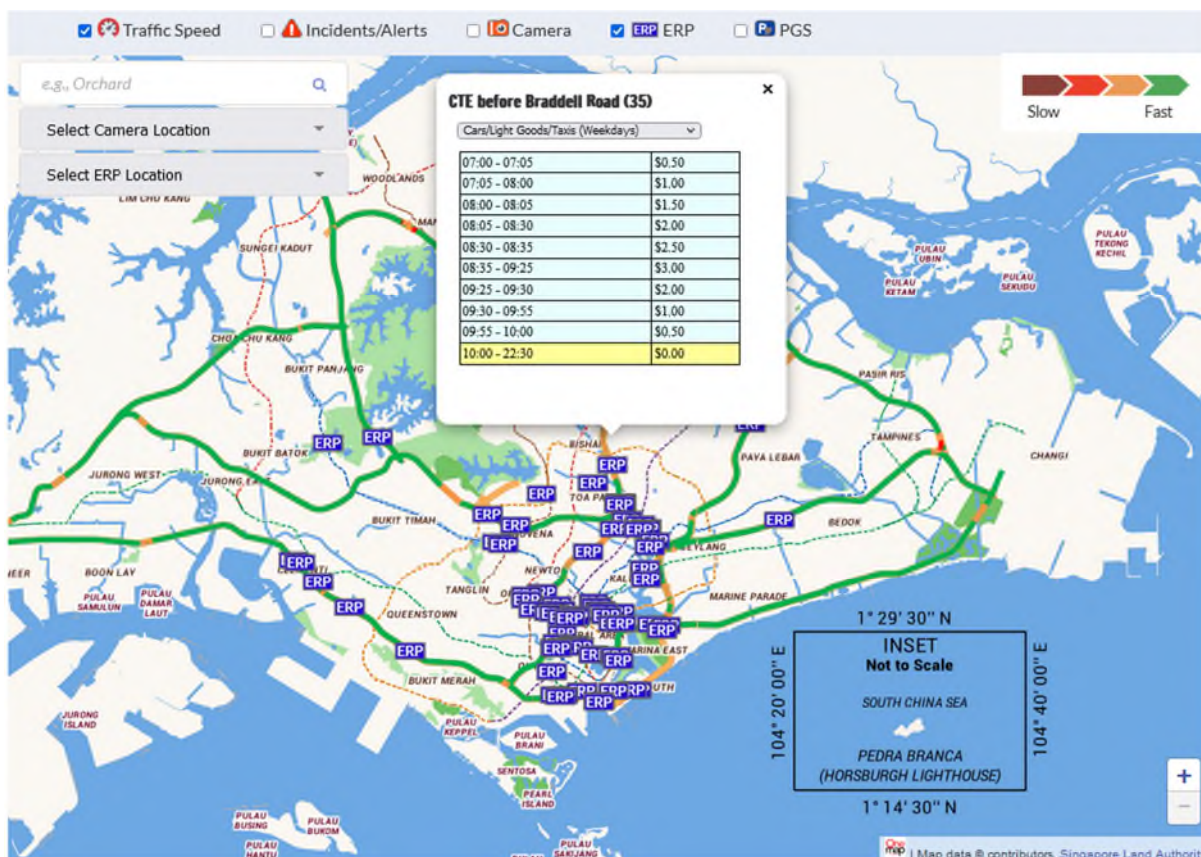
5.3.1.3 Electronic Road Pricing Singapur

Singapur war weltweit das erste Land mit Road Pricing. Das Mautsystem besteht bereits seit 1975. 1998 wurde Electronic Road Pricing eingeführt. Dabei muss jedes Fahrzeug über ein Erfassungsggerät verfügen und jede Fahrt durch eine der zahlreichen Erfassungsanlagen wird automatisch registriert und abgerechnet. Die Gebühren werden auf allen Straßen, die mit dem Stadtzentrum verbunden sind, sowie entlang von Ausfall- & Schnellstraßen mit starkem Verkehr erhoben¹⁸.

Die Gebühren für Pkw variieren je nach Ort und Zeit zwischen 0,70 bis 2,80 € (1 bis 4 Singapur Dollar) und können sich alle halbe Stunde je nach Verkehrsaufkommen verändern. Die Gebühren werden so angepasst, dass der Verkehr in einem optimalen Geschwindigkeitsbereich von 20-30 km/h auf Hauptverkehrsstraßen und 45-65 km/h auf Schnellstraßen fließt. Zu Zeiten, in denen die Geschwindigkeiten erreicht werden, fällt keine Maut an. Die Gebühren werden alle drei Monate überprüft und wenn nötig neu angepasst. Da beim Passieren jeder Mautstelle Gebühren anfallen, müssen Nutzer ggf. mehrmals zahlen und damit variieren die Kosten je nach Fahrtroute. Heute bestehen Pläne zu einer weiteren Phase und es wird die Verwendung eines Globalen Navigationssystems getestet, was die bestehenden Erfassungsanlagen überflüssig, und distanzabhängige Gebühren möglich machen würde (Bernasconi 2016).

¹⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_Road_Pricing

Als das Elektronische Roadpricing 1998 eingeführt wurde, sank das um Verkehrsaufkommen 10 bis 15 % im Vergleich zum vorherigen Mautsystem. Die durchschnittliche Geschwindigkeit erhöhte sich um rund 20 Prozent. Zudem wurden eine Zunahme von Car-Sharing und Carpooling sowie eine große zeitliche Verlagerung der Fahrten in die Nebenzeiten festgestellt (Bernasconi 2016; Axhausen et al. 2021). Eine Steigerung der Maut um 1 € führte zu einer Verlagerung von 12-20 % auf Busse (Agarwal und Koo 2016).



Quelle: https://onemotoring.lta.gov.sg/content/onemotoring/home/driving/traffic_information/traffic-smart.html

Abbildung 31: Electronic Road Pricing Singapur mit aktueller Stauinformation

5.3.1.4 Wirkungen von Maut Systemen

Anhang 9 stellt eine Übersicht der Wirkungen ausgewählter Mautsysteme dar. In London, Mailand, Stockholm und Göteborg schwanken die CO₂-Einsparungen zwischen 2,5 und 22 %. Selbstverständlich sind die Wirkungen vor allem abhängig von der Höhe der erhobenen Maut. Die Preiselastizität, wie schon in Kapitel 2.4 beschrieben, ist der geeignete Indikator, um diesen Zusammenhang zu quantifizieren. Tabelle 19 gibt einen Überblick über Studien, die die Elastizitäten von Mautprojekten untersuchen. In der Regel schwanken diese zwischen -0,2 und -0,9, wobei das City Maut Projekt in Stockholm 2014 eine Ausnahme bildet. Die bei diesen Elastizitäten beobachteten Unterschiede lassen sich durch verschiedene Faktoren erklären, z. B. durch den Zweck der Reise, die Häufigkeit der Reisen, die Höhe der Maut, das Vorhandensein einer mautfreien Alternative und die Länge der Reise.

Eliasson und Jonsson (2011) erklären die auch ex-ante unerwartet hohe Elastizität in Stockholm erstens mit einer geringen Abhängigkeit vom Auto, zweitens fiel die Regelung mit der Ausweitung des ÖPNV-Netzes zusammen und drittens wurden die Staugebühren als "Umweltgebühren" vermarktet, wobei der Schwerpunkt auf den positiven Auswirkungen auf die Luftqualität lag.

Tabelle 19: Elastizitäten von Maut Projekten

	Beschreibung	Elastizität	Quelle
City Maut			
Stockholm	2006	-0,87	Börjesson und Kristoffersson 2018
	2014	-1,24	
Göteborg	2013	-0,69	Börjesson 2018; Börjesson und Kristoffersson 2018
	2015	-0,52	
London	Zentrale Zone	-0,47	Evans 2008
	Westliche Zone	-0,42	
Trondheim	Nach Aussetzen der Maut	-0,22	Meland et al. 2010
Mailand	2008	-0,14 bis 0,34	Axsen et al. 2021
Singapur	Steigerung der Maut	-0,12 bis -0,20	Agarwal und Koo 2016
Weltweit	Metastudie	-0,02 bis -0,13	Cavallaro et al. 2018
Straßenmaut allgemein			
Norwegen 13 Mautprojekte	mittelfristig	-0,45	Odeck und Bråthen 2008
	langfristig	-0,82	
Weltweit	Internationale Studien	-0,21 bis -0,83	Litman 2010
USA, Kanada, Australien	35 Studien	-0,2 bis -0,3	Bain 2019

Ein Ziel von Maussystemen ist die Reduktion von Stauungen, was die Bezeichnung "congestion charge" erklärt. In der Norwegischen Stadt Trondheim ist die Elastizität 1½-mal höher, wenn die Kosten für Zeiten, die im Stau verbracht werden, in die Rechnung einbezogen werden (Meland et al. 2010). Wenn also die Maut so konzipiert ist, dass die Stauungen reduziert werden, dann ist ihre Wirkung mehr als doppelt so hoch. Dieses Prinzip macht sich die City Maut in Singapur zunutze, wo die Gebühren entsprechend der zu erwartenden Durchschnittsgeschwindigkeit angepasst werden (Agarwal und Koo (2016). Metz (2018) stellt zwar fest, dass auf lange Sicht die Stauungen nicht reduziert werden, kann dieses aber nur für London belegen.

Einige Autoren (Odeck und Bråthen (2008), Börjesson und Kristoffersson (2018)) stellen in Stockholm und auf Norwegischen Mautstraßen fest, dass sich langfristig die Elastizitäten erhöhen und erklären das mit einem dauerhaft geänderten Nutzerverhalten.

Börjesson und Kristoffersson (2018) stellen fest, dass in Stockholm die Elastizitäten für private Pkw doppelt so hoch sind, wie für den Rest der Flotte. Anpassungen der Verkehrsmittelwahl finden umfangreicher bei Fahrten mit dem Zweck Einkaufen als bei Berufs- oder Ausbildungsfahrten statt Roth (2009). Offensichtlich gibt es für Privatleute mehr Optionen durch Verhaltensänderungen eine Maut zu vermeiden. Letzteres trifft in Göteborg, Stockholm und Singapur ebenso für die Nebenverkehrszeiten zu, wo die Elastizität 1,7-mal höher ist, als zu Spitzenzeiten (Olszewski 2007).

Die vergleichbar geringere Elastizität in Singapur lässt sich dadurch erklären, dass hier lediglich die Maut erhöht und nicht neu eingeführt wurde. Diese bestätigt sich auch in London wo Evans (2008) feststellt, dass die Erhöhung der Maut um 60 % eine geringere Wirkung (-0,16 im Vergleich zu -0,47 bei Einführung) hatte. Dieses kann damit erklärt werden, dass preissensitive Nachfragesegmente schon bei der Einführung der Maut reagiert hatten.

Eine Literaturübersicht erstellt von Axhausen et al. (2021, S. 29), berichtet über Vorher-Nachher-Experimenten in Dänemark und Australien, wo GPS-Empfänger in Fahrzeuge eingebaut und die Fahrer dann verschiedenen Preisschemen zu Spitzenzeiten und außerhalb der Spitzenzeiten ausgesetzt wurden. Beide Studien berichten von einer Verringerung der Anzahl der Autofahrten während der Hauptverkehrszeiten. Im "Spitsmijden"-Experiment in den Niederlanden reagierten Pendler auf finanzielle Belohnungen und Sachleistungen, indem sie die Abfahrtszeiten verschoben, auf andere Verkehrsmittel umstiegen und von zu Hause ausarbeiteten.

Cavallaro et al. (2018) untersuchen in einer Metastudie die Klimawirkungen von 24 Projekten mit Straßennutzungsgebühren. Einfahrtgebühren, analysiert im Rahmen von ex-post Evaluationen in London, Mailand und Stockholm, reduzieren die CO₂-Emission zwischen 13 % und 20 %. Alle weiteren untersuchten Studien beruhen auf Simulationen und nicht auf Vorher-Nachher Untersuchungen. Eine Analyse von acht entfernungsabhängigen Straßenbenutzungsgebühren im Vereinigten Königreich, den Niederlanden und Australien ergab eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 5 % bis 20 %. Vier weitere Studien zu entfernungsabhängigen Gebühren wurden in den USA im Rahmen des Pay-as-you-drive insurance scheme durchgeführt und ergaben Klimawirkungen in Höhe von 8 %. Die Wirkungen variieren je nach den Annahmen für die Fallstudien, Zeitbeschränkung, Gebührenhöhe usw. und gehen von verschiedenen politischen Maßnahmen zur Unterstützung der Verkehrsverlagerung aus. Die Autoren betonen, dass Straßennutzungsgebühren im Vergleich zu den Auswirkungen anderer klimaschonender Maßnahmen "recht effektiv zu sein scheinen".

Eine Ex-post-Analyse der Mailänder Mautzone in Cerchia Bastioni ergab eine 35 %ige Verringerung des CO₂-Ausstoßes in diesem Gebiet im Vergleich zum Jahr vor der Einführung (Beria 2016). Dazu trugen eine Reihe von Faktoren bei, u. a. eine Verringerung der Zahl der in die Gebührenzone ein-fahrenden Fahrzeuge. Da die Gebühren auch nach Emissionsklassen gestaffelt waren, sank die Zahl der einfahrenden Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß um fast die Hälfte. Einige dieser Fahrten haben möglicherweise nicht stattgefunden, die Fahrzeit geändert oder sind auf alternative Verkehrsmittel ausgewichen. Die Einnahmen aus der Gebührenzone wurden in den öffentlichen Verkehr reinvestiert.

5.3.1.5 Rebound Effekte

Eine generelle Übersicht über Rebound-Effekte im Verkehr liefern Walnum et al. (2014). Dabei werden mögliche Rebound-Effekte genannt, jedoch nicht quantifiziert. Ein wichtiger Rebound Effekte wird durch die Verbesserung der Kraftstoffeffizienz verursacht, der zu niedrigeren Betriebskosten führt. Rebound Effekte können entstehen durch längere Fahrten, Verlagerung vom Fuß- und Radverkehr, größere Fahrzeuge und höhere Konsumausgaben, z.B. für Flugreisen. Der Rebound-Effekt durch eine verbesserte Fahrzeugeffizienz wird von Dimitropoulos et al. (2016) anhand einer Meta-Studie über 76 Forschungsarbeiten untersucht. Teile der Einsparungen werden u.a. durch Verhaltensänderungen kompensiert. Hierbei wird kurzfristig ein Rebound-Effekt bezogen auf den Energieverbrauch von 12 % und langfristig von 32 % beobachtet. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Steigerung der Kraftstoffeffizienz um 10 % langfristig zu einem Anstieg der Verkehrsnachfrage um etwa 3 % führen würde. Dabei ist ein höheres Einkommen mit geringeren Rebound-Effekten verbunden (Small & van Dender 2007). Diese Ergebnisse bestätigen Hymel et al. (2010) und untersuchen zusätzlich den Einfluss von Verkehrsstatus auf Rebound-Effekte, die durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen langfristig gedämpft werden können.

Eine Bepreisung des Verkehrs kann diesen Rebound Effekten entgegenwirken. Odeck und Johansen (2016) ermitteln anhand norwegischer Verkehrsdaten, dass erhöhte Kraftstoffpreise dem Rebound Effekt, verursacht durch verbesserte Fahrzeugeffizienz, entgegenwirken kann. Langfristig steigende Preise verringern den Rebound Effekt einer 1 %igen Verbesserung der Fahrzeugeffizienz um 0,24 %.

Straßenbenutzungsgebühren können einen Rebound-Effekt erzeugen, indem Verkehr auf Gebiete außerhalb der Mautzone verdrängt wird. Dieses kann auch zu Umwegfahrten und damit zu höheren CO₂-Emissionen führen. In Mailand hatte die Einführung Straßengebühren ein Rückgang des Verkehrs von 12 % innerhalb der Zone zur Folge, wobei 35 % des verlagerten Verkehrs auf umliegende Gebiete verschoben wurde (Rotaris et al. 2010).

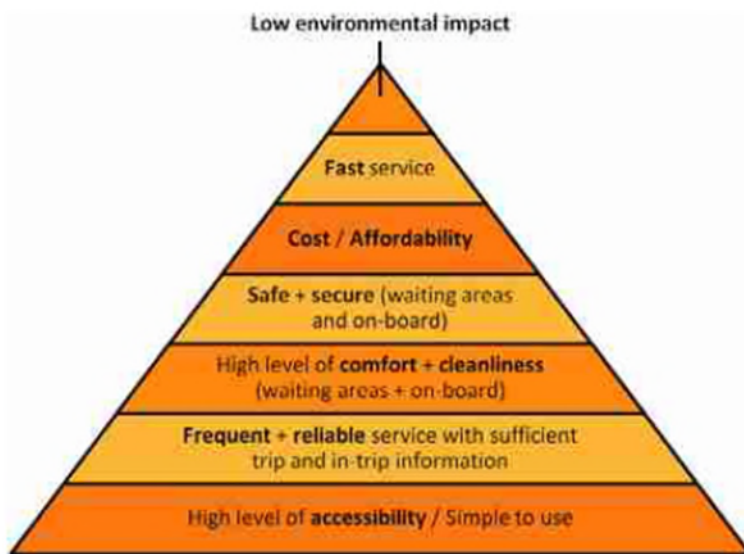
5.3.2 Pull Wirkungen durch Verbesserung des ÖPNV

Wie oben schon dargestellt, ist der Mobilitätspass geeignet, um die Finanzierung des ÖV zu verbessern. In diesem Abschnitt soll untersucht werden, wie sich die Verbesserung von ÖV-Systemen auf die Nachfrage, den Modal Split und damit auf die CO₂-Emissionen auswirkt. Zunächst wird auf die schon in Kapitel 2.4.2 dargestellten Elastizitäten für Maßnahmen zu Verbesserung des ÖV verwiesen.

Batty et al. (2015) untersuchen in einer Literaturstudie die Umweltwirksamkeit von Pull Maßnahmen und stellen eine Hierarchie her, die in Abbildung 32 dargestellt ist. Wichtigstes Element ist die Häufigkeit und Zuverlässigkeit der Bedienung, welche häufig als Schlüsselattribute für die Qualität eines ÖPNV-Angebots angesehen werden. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass das ÖPNV-System so benutzerfreundlich wie möglich ist - im Mittelpunkt steht dabei die Bereitstellung von nahtlosen Fahrten. Wenn eine Fahrt Umsteigen erfordert, sollte dieses schnell und einfach vorgenommen werden können. An dritter Stelle folgt der Komfort, der sich auf eine Vielzahl von Aspekten beziehen kann, wie z. B. auf die Lufttemperatur, die Verfügbarkeit und Qualität von Sitzgelegenheiten, die Sauberkeit des Systems, die Ausstattung der Wartebereiche und die Bereitstellung von WLAN. Aber auch die Sicherheit im Fahrzeug und an den Haltestellen ist von Bedeutung.

Die Autoren betonen, dass die Qualität der Dienstleistungen wesentlich wichtiger ist als der Preis. "It would be more pragmatic to invest in improving the quality of the service, rather than increasing the level of PT subsidies" (Batty et al. 2015, S. 111). Diese Erkenntnis wird auch durch Forschungen von Borhan et al. (2014) in Malaysia bestätigt.

Erst an letzter Stelle der Wichtigkeit steht die Reisegeschwindigkeit und -zeit. In städtischen Bahnsystemen kann der Zeitunterschied zwischen einem schnellen und zwischen einem schnellen und einem langsamen Dienst nur 1-2 Minuten betragen, was darauf hindeutet, dass die Geschwindigkeit ein weniger wichtiges Qualitätsmerkmal ist. Es ist nachgewiesen, dass eine Erhöhung der Geschwindigkeit oder Fahrzeit geringfügig zu verkürzen, wenig oder keine Auswirkungen auf die Fahrgastzahlen hatte.



Quelle: Batty et al. 2015, S. 114

Abbildung 32: Hierarchie der Pull Maßnahmen im ÖV

5.3.2.1 Wirkungen einer Verbesserung der Angebotsqualität

Die Angebotsqualität, gemessen in angebotenen Fahrzeug-km, hat eine Elastizität von 0,25 bis 0,68 (s. Kapitel 2.4.2), wobei in der Regel von 0,3 ausgegangen wird (Breisig et al. 2022). Damit sind die Elastizitäten geringer als beispielsweise eine Straßenmaut. Diese Elastizitäten sind dann auch die entscheidenden Determinanten, um die Wirkungen in dem Klimaschutzszenario BW 2030 (ITP et al. 2017b) abzuschätzen. Diese Vorgehensweise ist (notwendigerweise) grob, z.B. weil keine räumlich differenzierten Elastizitäten vorhanden sind. Die Frage der räumlichen Differenzierung der Angebotsqualität wird in Kapitel 5.4 ausführlicher behandelt.

Mit einem Agentenmodell simulieren Schlenther et al. (2022) den geplanten Ausbau des Hamburger öffentlichen Verkehrssystems bis 2025 in Bezug auf Frequenzen, Netzausbau und Dichte. In der Simulation haben die Verbesserungen des Fahrplans keine starken Auswirkungen auf den Modal Split, sondern erhöht den ÖV-Anteil um lediglich einen Prozentpunkt. Kaddoura et al. (2020) beobachteten den gleichen Effekt auf den Modal Split durch Verdopplung der Frequenzen aller ÖV-Linien in einem Szenario für das Ruhrgebiet. Die Ursache wird in der agentenbasierten Simulation deutlich: Ein Umsteigen eines Teils der Autofahrer auf den ÖV entlastet den Straßenverkehr, erhöht damit die Erreichbarkeit und macht den MIV dadurch wieder attraktiver. Ohne eine Beschränkung des Straßenverkehrs sind nur geringe Wirkungen durch den ÖV-Ausbau zu erwarten.

Signifikante Umwelteffekte können dagegen simuliert werden, wenn der oben beschriebenen ÖV-Ausbau in Hamburg mit Push-Maßnahmen kombiniert wird. Schlenther et al (2022) simulieren zusätzlich eine stadtweite Verringerung des Parkraums, eine Erhöhung der Parkgebühren, Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 Stundenkilometer auf allen Straßen mit Ausnahme von Hauptverkehrsstraßen und Autobahnen, sowie eine Reduktion der Kapazitäten auf zweispurigen Hauptstraßen um einen Fahrstreifen. Durch diese Maßnahmenkombination können die CO₂-Emissionen um 6,7 % gesenkt werden.

Während die Elastizität für das Angebot gemessen in Fahrzeug-km vergleichsweise einfach zu berechnen ist, fällt die Bewertung der Angebotsqualität für Verlässlichkeit, Komfort und Sicherheit

wesentlich schwerer. Weil die Analysen auf einer Meta-Ebene wesentlich komplexer sind, wird in der Literatur auf Einzelbeispiele verwiesen. Batty et al. (2015) berichtet, dass Verbesserungen des Komforts, der Sauberkeit und der Sicherheit in der U-Bahn von Chicago zu einem Anstieg der Fahrten um 5 % über einen Zeitraum von fünf Jahren geführt haben, nachdem die Zahl der Fahrten über einen längeren Zeitraum hinweg zurückgegangen war.

Kuss und Nicholas (2022) berichten über die Stadt Utrecht, in der ein Mobilitätsservice für Pendler basierend auf ein Öffentlich-Privaten -Partnerschaft eingerichtet wurde. Die Kooperation beinhaltete die Bereitstellung und Vermarktung kostenloser öffentlicher Verkehrsmittel und privater Shuttles für die Angestellten von dem Bahnhof und P&R Plätzen zum Gewerbegebiet. Dadurch wurde die Zahl der Autonutzer (in diesem Fall Pendler, die mit dem Auto unterwegs sind) um 37 % verringert. Ähnliche Wirkungen berichten die Autoren von der Einrichtung eines Shuttle Services für Studierende mit Schnellbussen (BRT) zum Uni-Campus in Catania, Italien. Die Einführung einer derartigen Maßnahme in BW wäre im Rahme des Mobilitätspasses als Arbeitgeberabgabe denkbar.

Eine Studie im Auftrag des Umweltbundesamter (Allekotte 2020) untersucht die Wirkungen des Ausbaus des Schienenpersonen Nahverkehrs in Schleswig Holstein zwischen den Jahren 2006 und 2016. Durch die Verbesserungen wurden zusätzliche Verkehrsleistungen generiert, die sich nicht allein durch die Steigerung des Bedarfes, z. B. durch zusätzliche Pendler, erklären lassen. Im Extremfall setzt sich das zusätzliche Aufkommen ausschließlich aus induziertem Verkehr zusammen, was mit einer Erhöhung der CO₂-Emissionen verbunden wäre. Sollten jedoch Pkw-Fahrten ersetzt werden, dann kämen hierdurch eine Minderung der Emissionen zustande. Die Bandbreite der Umweltwirkung liegt zwischen +17.460 und -32.305 t CO₂e pro Jahr. Sollten mehr als 36 % der durch die Angebotsanpassung resultierenden Fahrgäste vom Pkw stammen, hätte dies eine positive Bilanz.

5.3.2.2 Wirkungen durch Preisgestaltung im ÖV

Die deutsche Diskussion um preisliche Wirkungen auf die ÖV-Nachfrage wurde im Jahr 2022 vor allem durch das 9-Euro Ticket bestimmt, das von 1. Juni 2022 bis zum 31. August 2022 als Reaktion auf Preissteigerungen von Treibstoffen eingeführt wurde. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen VDV berechnete 17 % Neukunden, eine Verlagerung vom Pkw in Höhe von nur 3 % und stellte fest, dass 27 % induzierter Neuverkehr waren. Dietl und Reinhold (2022) und Krämer und Korbut (2022) kritisieren die Art der zweistufigen Abfrage¹⁹, die zu eine Überschätzung des induzierten Verkehrs führe. Eine Begründung dafür wurde aber nicht geliefert. Einstufige Abfragen auf Ebene von Verkehrsverbänden (s. Tabelle 20) führten zu für den ÖV wesentlich positiveren Ergebnissen aus Sicht des ÖV. Insgesamt fehlt bisher eine tiefergehende wissenschaftlich fundierte Untersuchung zu dem Thema.

¹⁹ 1. Stufe: Hätten Sie diese Fahrt auch ohne das 9 Euro unternommen? Nein = induzierter Verkehr. 2. Stufe: Bestimmung des alternativen Verkehrsmittels.

Tabelle 20: Untersuchungen zu den Wirkungen des 9-Euro Ticket

	VDV	HVV	Frankfurt
Neukunden	17 %	25 %	11 %
Induzierter Verkehr	27 %	6 %	<5 %
Verlagerung vom Pkw	3 %	12 %	>25 %
Verlagerung vom NMV	k.A.	5 %	25 %
Verlagerung von Fernverkehr	k.A.	1 %	k.A.
Quelle	VDV 2022	Krämer 2022	Dietl 2022

Ein erheblicher Anteil des Neuverkehrs wird durch eine Verlagerung vom Nicht Motorisierten Verkehr (NMV) generiert. Mehr als 70 % des induzierten Verkehrs in Frankfurt wurden im Urlaub oder in der Freizeit durchgeführt (Dietl und Reinhold 2022). Leider war der Effekt nicht von langer Dauer; nur 6 % der Nutzer gaben an, nach der Aktionszeit Busse und Bahnen mehr zu nutzen als vorher (Kugoth 2023). Mit Hinblick auf die Klimawirkungen fallen die Analysen deutlich pessimistischer aus als die ursprünglich vom VDV geschätzten 1,8 Millionen Tonnen CO₂. Infas schätzt die Einsparung auf 0,5 Millionen Tonnen, das Leibniz Institut berechnet 0,2 bis 0,7 (Kugoth 2023).

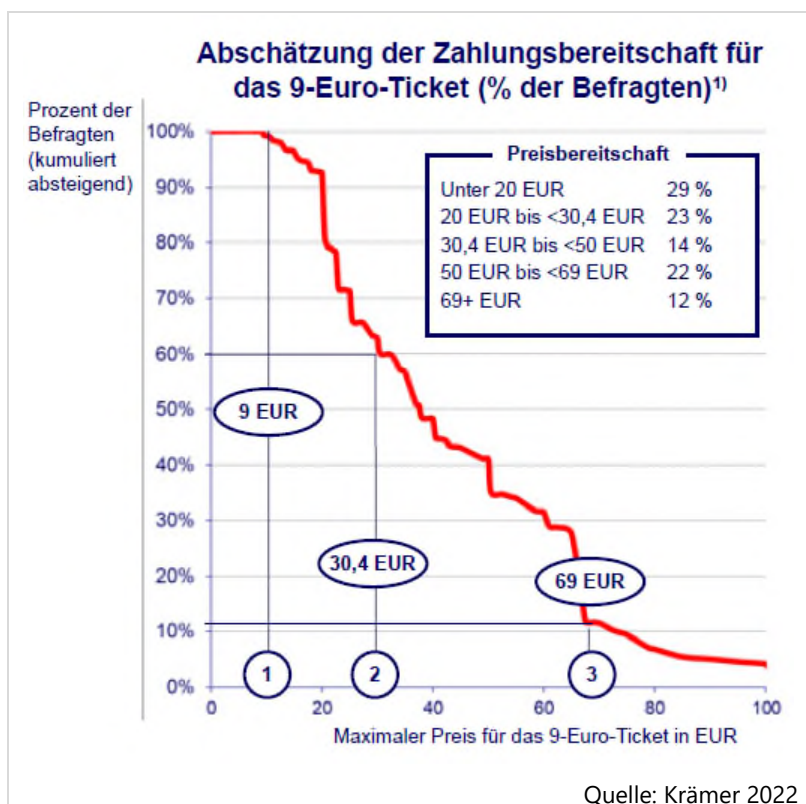


Abbildung 33: Zahlungsbereitschaft für das 9-Euro-Ticket.

Krämer und Korbut (2022) führten eine Befragung zur Zahlungsbereitschaft durch, deren Ergebnisse in Abbildung 33 dargestellt sind. Deutlich wird, dass mit zunehmender Preishöhe die Mehrverkehrseffekte abnehmen würden. 60 % der Befragten ist bereit 30,40 € für eine gleiche Leistung zu zahlen. Für das geplante 49 Euro Ticket sind es nur noch 40 %.

Das 49-Euro-Ticket muss allerdings auch unter dem Aspekt bewertet werden, dass es eine Flatrate ist. Nach Untersuchung von Wirtz et al. (2015) tendieren die Käufer zu einer höheren Zahlungsbereitschaft. Der Grund ist unvollständige Information über die zukünftigen Fahrtkosten und die Versicherung gegen Preisschwankungen.

Die Frage des kostenlosen ÖV wird in der wissenschaftlichen Literatur intensiv diskutiert. Andor et al. (2021) befragten 6812 Haushalte und stellten fest, dass 72 % für kostenlosen ÖV sind. Nach der Studie würde sich "die Zahl der wöchentlichen ÖPNV-Fahrten pro Person infolge dieser verkehrspolitischen Maßnahme im Mittel mehr als verdreifachen". Diese Erkenntnis wird gestützt durch empirische Erkenntnisse zur kostenlosen Busnutzung einen Anstieg der Fahrgäste um das 15-fache in Templin oder das 12-fache in Hasselt, Belgien bewirkte (Andor et al. 2021). In Aubagne, einem Vorort von Marseille (Frankreich) stieg die Zahl der Fahrgäste um 136 % nach der Einführung eines Nulltarifs (International Transport Forum 2023). Die Reaktion in Tallinn fiel mit 14 % dagegen wesentlich niedriger aus, aufgrund der vorherigen hohen Nutzung des ÖV, verbunden mit einem relativ niedrigen Tarif. In Templin nutzten nur wenige Einwohner den ÖV und Hasselt betrug der Anteil des ÖV lediglich 5 % am Ende der kostenlosen Phase. (Cats et al. 2017).

Ein wesentlicher Kritikpunkt an dem kostenfreien Nahverkehr ist die relativ geringe Wirkung hinsichtlich der Reduktion des Autoverkehrs. Im Falle Templins gaben nur 10-20 % der Befragten an, für die zusätzlichen Fahrten weniger Strecken mit dem Auto zurückzulegen (Andor et al. 2021). Darüber hinaus ist die überwiegende Mehrheit der Substitutionseffekte auf die Verlagerung von nicht-motorisierten Verkehrsträgern zurückzuführen 30-40 % vom Radfahren und 35-50 % vom Gehen (Cats et al. 2017). In Hasselt sind lediglich 37 % der zusätzlichen Fahrgäste Personen, die zuvor keine Nutzer des ÖPNV waren. Von den Personen, die zuvor den ÖPNV nicht nutzen, ersetzen 43 % Autofahrten durch ÖPNV-Fahrten, die übrigen Umsteiger waren Fahrradfahrer und Fußgänger. (Andor et al. 2021). Ähnliche Erkenntnisse finden sich für Stavanger, Norwegen, und Kopenhagen (Cats et al. 2017). Eine auf 83 Studien basierende Meta-Analyse von Fearnley et al. (2013) stellt fest, dass ein kostenloser ÖPNV zu einer Verringerung des Autofahrens von lediglich 4,1-6,2 % führt.

Eine Ausnahme stellt die oben erwähnte Stadt Aubagne dar. Nachdem der ÖPNV zum Nulltarif eingeführt und das Netz modernisiert worden war, stellten die lokalen Behörden fest, dass von den neuen Fahrgästen 50 % zuvor das Auto nutzten, 20 % mit dem Fahrrad fuhren und 10 % zu Fuß gingen. 63 % der neuen ÖPNV-Fahrten, die durch die Abschaffung des Fahrpreises ausgelöst wurden, wären sonst mit einem motorisierten Fahrzeug durchgeführt worden (International Transport Forum 2023).

Die estnische Stadt Tallinn führte kostenlosen ÖV ein, damit sich in der Hauptstadt mehr Einwohner registrieren, dort ihre Steuern entrichten und damit den ÖV zu finanzieren. Dieses war einfach möglich, da die ÖV-Kostendeckung nur 30 % betrug. Der Modal Split verschob sich wie in Abbildung 34 dargestellt vom inneren Ring nach außen. Cats et al. (2017) stellen eine beträchtliche Verlagerung des Fußverkehrs auf öffentliche Verkehrsmittel im Jahr 2013, mit einem Rückgang des Anteils der zu Fuß zurückgelegten Wege um 40 % fest. Bemerkenswert ist der durch die Maßnahme verursachte Rebound Effekt. Zwar ging der Anteil der Pkw-Nutzer um 5 % zurück, die durchschnittlich mit dem Pkw zurückgelegte Strecke nahm jedoch zu, was zu einem Anstieg der gesamten Fahrzeugkilometer um 31 % führte.

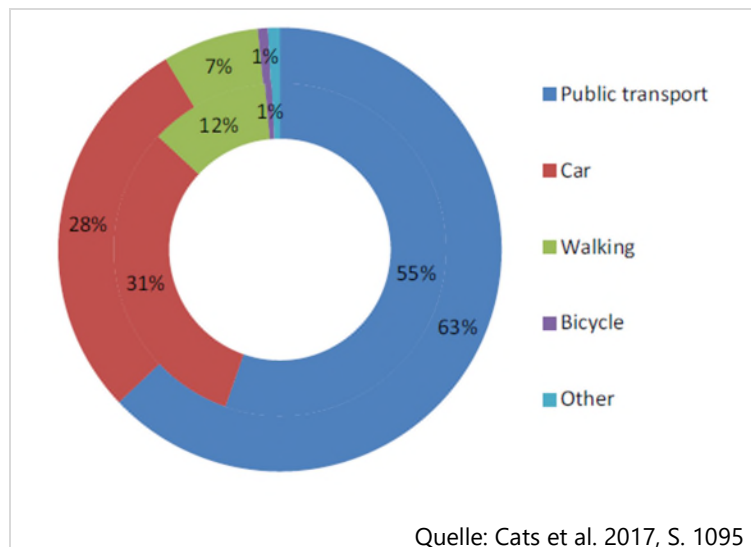


Abbildung 34: Modal Split in Tallinn 2012 und 2013 (außen)

Ein weiterer Nachteil einer Verbilligung des ÖV ist die "Umsatzkannibalisierung", die dadurch zustande kommt, dass die ÖV-Dauernutzer geringere Beiträge für ihre Jahreskarten zahlen müssen. Die rückgängigen Einnahmen führten in Hasselt dazu, dass der ÖV nicht mehr finanziert werden konnte und der kostenlose Betrieb abgeschafft wurde. Darüber hinaus führt der induzierte Verkehr zu einer höheren Auslastung und damit zu einem Sinken des Reisekomforts, insbesondere zu Spitzenzeiten (Krämer und Korbust 2022). Dieses ist besonders in Anbetracht der von Batty et al. (2015) oben dargestellten Priorisierung der ÖV Maßnahmen von Bedeutung.

Canzler und Knie (2020, S. 105) fassen die Diskussion ÖV wie folgt zusammen: "Ein Nulltarif – also die immer wieder gerne geforderte kostenfreie Nutzung des öffentlichen Verkehrs – ist da auch nicht das erhoffte Wundermittel. Ob der ÖV für die Kundin/ den Kunden zu teuer ist oder als zu teuer empfunden wird, ist für seinen Erfolg nicht allein entscheidend." Darüber hinaus wird bei der Einschätzung, wie teuer der ÖV ist, wird in der Regel jedenfalls das Auto als Referenz herangezogen. In diesem Vergleich kann sich der ÖV meistens nicht behaupten, da die eigenen Autokosten systematisch verzerrt wahrgenommen werden. "So liegt die persönliche Kostenberechnung im Durchschnitt ungefähr bei der Hälfte der tatsächlichen Kosten " (Canzler und Knie 2020)

5.3.3 Umsetzung von Push und Pull Maßnahmen

In der wissenschaftlichen Literatur besteht ein großer Konsens, dass die Kombination von Push und Pull Maßnahmen die größten Wirkungen entfaltet (Müller, P., Schleicher-Jester, F., und TOPP, H. 1992, Eriksson et al. 2008; Wicki et al. 2019; Piatkowski et al. 2019, Bardal et al. 2020, Hekler 2022,). Holz-Rau und Scheiner (2020) fordern, dass "deutlich stärker als bisher nicht nur Angebotsverbesserungen für planerisch erwünschte Verkehrsmittel (Pull-Strategien), sondern Einschränkungen für unerwünschte Verkehrsmittel (Push-Strategien) erforderlich" wären.

Jedoch stößt die praktische Implementierung von Push Maßnahmen auf erhebliche Widerstände. Eriksson et al. (2008) schlussfolgern, dass die Pull-Maßnahmen von der Bevölkerung als effektiv, fair und akzeptabel empfunden werden, während die Push-Maßnahmen als eher ineffektiv, unfair und inakzeptabel empfunden wurden. Bardal et al. (2020) zeigen am Beispiel Norwegens, dass Push Maßnahmen eine wesentlich geringer Akzeptanz unter der Bevölkerung finden. Bei regionalen Wahlen konnte die neugegründete Folkeaksjonen nei til mer bompenger (Die Volksaktion Nein zu mehr Mautgebühren) erhebliche Erfolge verbuchen, die sich bis auf die nationale politische Ebene

auswirkten. Die Autoren vermuten, dass es für Politiker schwierig sein könnte, wiedergewählt zu werden, wenn sie politische Maßnahmen ergreifen, die die Autonutzung einschränken.

Nicht nur in Norwegen ist ein Widerstand gegen die Push Maßnahmen zu spüren, sondern auch in BW reagierten der Steuerzahlerbund und der DGB negativ auf die Ankündigung einer Nahverkehrsabgabe (Zeit Online 5.12.2021). Auch der Oberbürgermeister Stuttgarts lehnt eine Einführung nur für Stuttgart ab (Stuttgarter Zeitung 04.05.2021).

Bardal et al. (2020) stellt fest, dass viele Autonutzer es nicht akzeptieren können, dass sie die Infrastruktur für das Radfahren, das Zufußgehen und den öffentlichen Verkehr finanzieren sollen. Die Autoren betonen, dass Wirtschaftswachstum und die Schaffung von Arbeitsplätzen oft Vorrang vor Klima- und Umweltfragen haben. Pettersson et al. (2021) befragten schwedische Planer und stellten eine Diskrepanz zwischen den Zielen der Verringerung des Autoverkehrs und der Fortsetzung der Investitionen in den Ausbau der Straßenkapazität, sowie eine Schwierigkeit beim Übergang von der prognoseorientierten zur einer nachhaltigen Planung, die Maßnahmen rückwirkend von der Zukunftsvision (z.B. Klimaneutralität) entwickelt.

Thaller et al. (2021) beschreiben das Planungsdilemma in Österreich wie folgt: "Wenn Push-Maßnahmen überwiegen, könnte theoretisch eine radikale und schnelle Dekarbonisierung erreicht werden, aber das Maßnahmenpaket ist aufgrund seiner geringen Akzeptanz wahrscheinlich nicht umsetzbar. Wenn hingegen Pull-Maßnahmen dominieren, haben die Maßnahmen eine höhere Chance auf Akzeptanz, aber die Dekarbonisierung ist weniger wahrscheinlich innerhalb der nächsten Jahrzehnte zu erreichen. Wicki et al. (2019) empfehlen politischen Entscheidungsträgern, die an starken Emissionssenkungen im Verkehrssektor interessiert sind, unterschiedliche Arten von Maßnahmen zu bündeln. Um die Akzeptanz zu erhöhen, sollten die Pakete eher mittelstarke Push-Maßnahmen beinhalten.

Hrelja und Rye (2022) meinen, eine Lösung könnte darin bestehen, neue Institutionen zu schaffen, wo sich Routinen und Normen allmählich ändern, so dass Push-Maßnahmen allmählich Teil der normalen Verkehrsplanung werden. Zu dem Thema Push und Pull läuft momentan ein Forschungsprojekt der TU Harburg (Hekler 2022), dass sich momentan in der Anfangsphase befindet.

5.4 Differenzierung der Klimawirkungen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Frage, wie die Klimawirkungen von Push und Pull Maßnahmen durch unterschiedliche Rahmenbedingungen, wie z.B. Raumtyp, Stadtgröße oder Siedlungsstruktur differenziert werden können.

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) 2022 untersucht die Wirkungen von acht Instrumentenbündeln zu klimafreundlicher urbaner Mobilität, die auch Push und Pull Maßnahmen umfassen. Je nach Maßnahmenbündel verteilen sich die gesamten Wirkungen wie folgt:

- Metropolen 22 – 27 %
- Regiopolen und Großstädte 15 – 16 %
- Klein- und Mittelstädte 38 - 41 %
- Ländlicher Raum 19 – 20 %.

Es ist bemerkenswert, dass die absoluten Wirkungen in Klein- und Mittelstädten am größten sind. Die Höhe der Wirkungen hängt von der Einwohnerzahl in den Städten und der Stärke der Wirkungen je Raumtyp ab. Die Untersuchung zeigt, dass auch in ländlichen Räumen erhebliche Wirkungen erzeugt werden können.

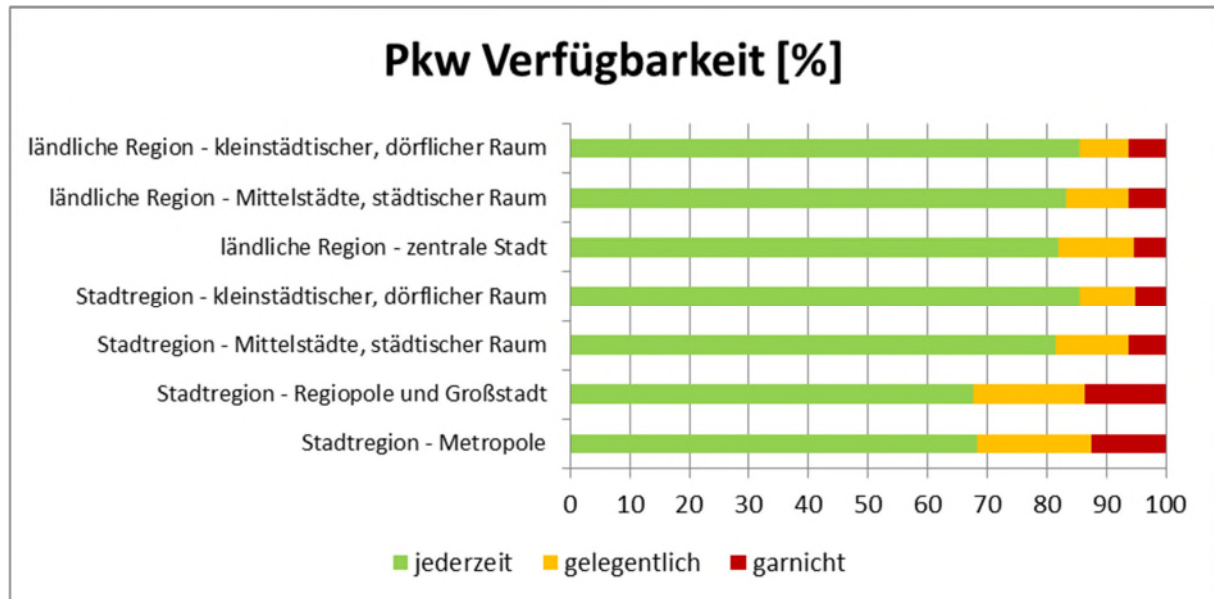
5.4.1 Differenzierte Push Wirkungen durch Abgaben für Pkw

Wie das Kapitel 5.3.1 zeigt, ist die Einführung von Straßennutzungsgebühren grundsätzlich in Groß-, Mittel- und sogar Kleinstädten möglich. Hier gilt jedoch, dass die Elastizität der Nachfrage mit der Siedlungsdichte abnimmt. Die Preiselastizität der Nachfrage im ländlichen Raum beträgt nur die Hälfte des städtischen Raums (Dargay 2002). Das hängt damit zusammen, dass auf dem Land generell weniger Alternativen zum Pkw zur Verfügung stehen. Die Preissensibilität nimmt tendenziell mit der Qualität und Erschwinglichkeit alternativer Strecken, Verkehrsträgern oder Zielen zu. Grundsätzlich treffen preisliche Maßnahmen in ländlichen Regionen auf geringere Akzeptanz als in Städten, weil der Anteil der Ausgaben eines Haushaltes für Mobilität mit der Abnahme der Bevölkerungsdichte steigt. Der Anteil liegt für Deutschland in hochverdichteten Agglomerationsräumen bei ca. 7,5 % und in ländlichen Räumen geringerer Dichte bei ca. 8,9 % (Roth 2009, A2-13).

Darüber hinaus besteht ein erheblicher Unterschied zwischen Zentrum um Peripherie. Das Beispiel der Volksabstimmung über die City Maut in Stockholm demonstriert, dass die Stadtbewohner für die Maut waren, während die umliegenden Ortschaften dagegen stimmten. Eine vergleichende Studie mit drei Städten in Norwegen (Bardal et al. 2020) zeigt, dass der wohlhabendere Teil der Bevölkerung in den zentraleren Teilen der Städte zu wohnt und häufiger in der Lage ist, Maut- und Parkgebühren zu zahlen. Dies könnte einen Teil der Spannungen zwischen den Nachbargemeinden Bergen und Trondheim und der Kernstadt erklären.

In Verdichtungsräumen sollte unterschieden werden zwischen mono- und polyzentralen Siedlungsstrukturen. Bei monozentralen Städten zeigen internationale Beispiele aus London oder Stockholm, dass eine auf das Stadtzentrum begrenzte City-Maut die gewünschten Wirkungen erzielt. In polyzentralen Räumen (Rhein-Ruhr, Rhein-Main, Region Stuttgart) mit konkurrierenden Zentren kann eine großräumige regionale Maut (= alle Straßen mit Ausnahme der Autobahnen) sinnvoller sein. Eine regionale Maut kann typische Stadt-Umlandverkehre beeinflussen und vermeidet unerwünschte Verlagerungen bei der Zielwahl. Letzteres würde voraussetzen, dass der Mobilitätspass gemeindeübergreifend konzipiert werden müsste, was eine zusätzliche Erschwernis darstellt.

Eine räumliche Differenzierung der Nahverkehrsabgabe kann anhand der Pkw-Dichte vorgenommen werden, die in ländlichen Regionen grundsätzlich höher ist als in Städten. Dichten unter 500 finden sich in den Großstädten Mannheim, Heidelberg, Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg, Ulm, Pforzheim und Heilbronn. Hohe Dichten über 650 sind in den nordöstlichen Landkreisen, auf der Schwäbischen Alb und im Nordschwarzwald zu finden. Sieber (2019) analysiert die Studie Mobilität in Deutschland MID 2017 und stellt mit abnehmender Zentralität des Ortes eine zunehmende Pkw-Verfügbarkeit fest (s. Abbildung 35).



Quelle: Sieber 2019

Abbildung 35: Pkw-Verfügbarkeit in BW 2017 nach Raumtypen und Zentralität

Eine Differenzierung der sozialen Wirkungen preislicher Maßnahmen für den Pkw Verkehr in BW zeigt, dass einkommensschwache Bürger weniger Autos zur Verfügung haben und damit sich auch klimafreundlicher bewegen (Sieber 2019). Haushalte mit sehr niedrigem ökonomischem Status verursachen weniger als die Hälfte der CO₂-Emissionen im Vergleich zu Bürgern mit sehr hohem ökonomischem Status. Entsprechend dieser Aussage würde auch eine hypothetische Steuer in Höhe von 60 € /Tonne CO₂ die ärmeren Haushalte weniger belasten (s. Abbildung 36).

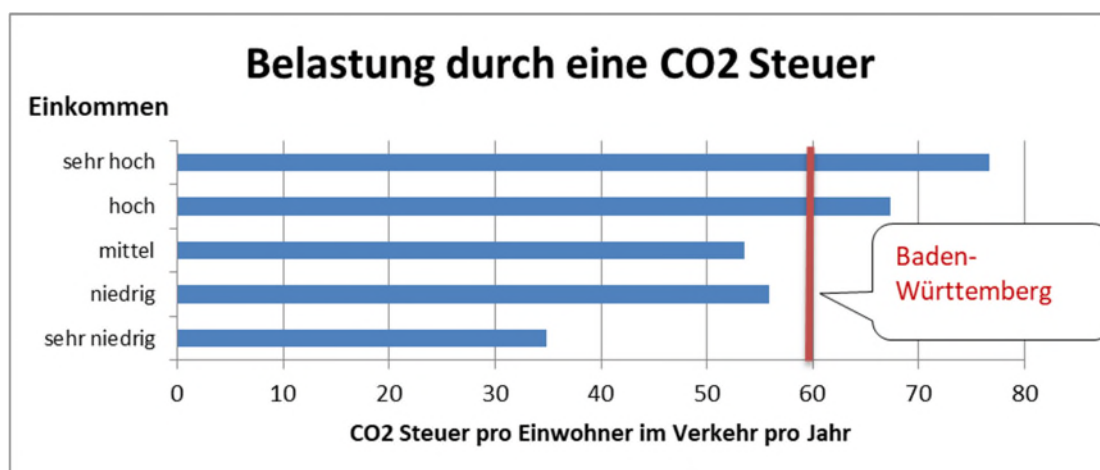
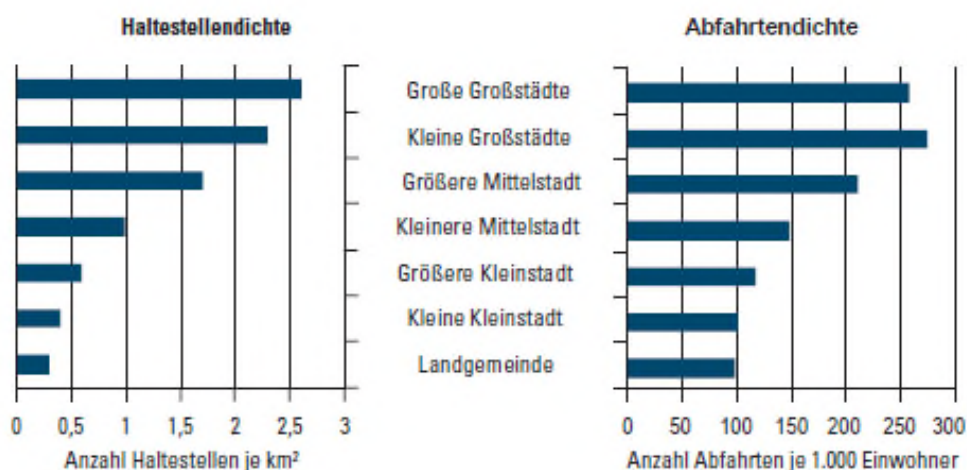


Abbildung 36: Belastung einer CO₂ Steuer in Höhe von 60€/Tonne in BW nach ökonomischem Status

5.4.2 Differenzierte Pull Wirkungen durch Verbesserung des ÖPNV

Es ist zu plausibel, dass die notwendigen Voraussetzungen für die Einführung eines Mobilitätspases in Ballungsräumen mit einer hohen Bedienungsdichte im ÖV eher erreicht werden als in ländlichen Regionen. Dieses wird durch eine Untersuchung des Bundesamtes für Bauwesen, Städtebau und Raumordnung (Pütz und Schönfelder 2018) bestätigt, das die ÖV Erschließungsqualität in Deutschland analysiert und zeigt, "dass zwar relativ viele Menschen ein Grundangebot des ÖV nutzen können, dass jedoch nur in Ballungsräumen die Zahl der Abfahrten an Haltestellen auf ein nutzergerechtes und flexibles Angebot schließen lässt." Die Autoren schränken jedoch ein, dass "traditionelle Angebote im Öffentlichen Verkehr ... in einzelnen Teilräumen kaum noch eine akzeptable und flächendeckende Versorgung gewährleisten können". Die Analyse (Abbildung 37) zeigt deutlich, dass mit abnehmender Gemeindegröße sowohl die Dichte der Haltestellen, als auch die Zahl der Abfahrten abnimmt. Eine Ausnahme bilden kleinere Großstädte, die bei den Abfahrten besser abschneiden als große Großstädte.



Quelle: Pütz und Schönfelder 2018

Abbildung 37: Haltestellen- und Abfahrtdichten nach Stadt- und Gemeindetyp (Werktag)

Die räumliche Differenzierung der Erschließungsqualität für BW wird in Abbildung 38 dargestellt, wobei jedoch auf den Indikator Haltestellendichte verzichtet wird²⁰. Wird jedoch der Anteil der Bevölkerung im Einzugsbereich der Haltestellen (links) analysiert, so zeigt sich zunächst eine hohe Erschließungsqualität im Vergleich zum Rest der Bundesrepublik. Die Qualität ist deutlich besser im Raum Stuttgart, Rhein-Neckar, Ulm, in Teilen des Rheintals, aber auch im Bereich des Verkehrsverbundes Schwarzwald-Baar Kreis VSB (Villingen-Schwenningen). Schlechtere Anbindungen sind in Teilen des Schwarzwaldes, der Schwäbischen Alb und an der bayrischen Landesgrenze zu verzeichnen.

Für die Versorgung der ländlichen Bevölkerung ist die Reisezeit zum nächsten Zentrum von Bedeutung. Wird die ÖV Reisezeit bis zum nächsten Mittel- oder Oberzentrum analysiert (Abbildung 38, rechts) so sind die längsten Reisezeiten in Teilen des Schwarzwaldes (Kreise Lörrach/Waldshut, Furtwangen, Oppenau), in Hohenlohe (Kreise Schwäbisch Hall/Main Tauber/Hohenlohe) und der

²⁰ Dieses würde lediglich dazu führen, dass alle Agglomerationen mit hohen Dichten zu erkennen wären.

schwäbischen Alb (Burladingen) zu verzeichnen. Dabei ist nicht unbedingt die ÖV Reisegeschwindigkeit ausschlaggebend, sondern auch die Entfernung zum nächsten Zentrum. Deshalb ist auch die Erreichbarkeit in BW im Vergleich zu den Flächenländern in Deutschland relativ gut.

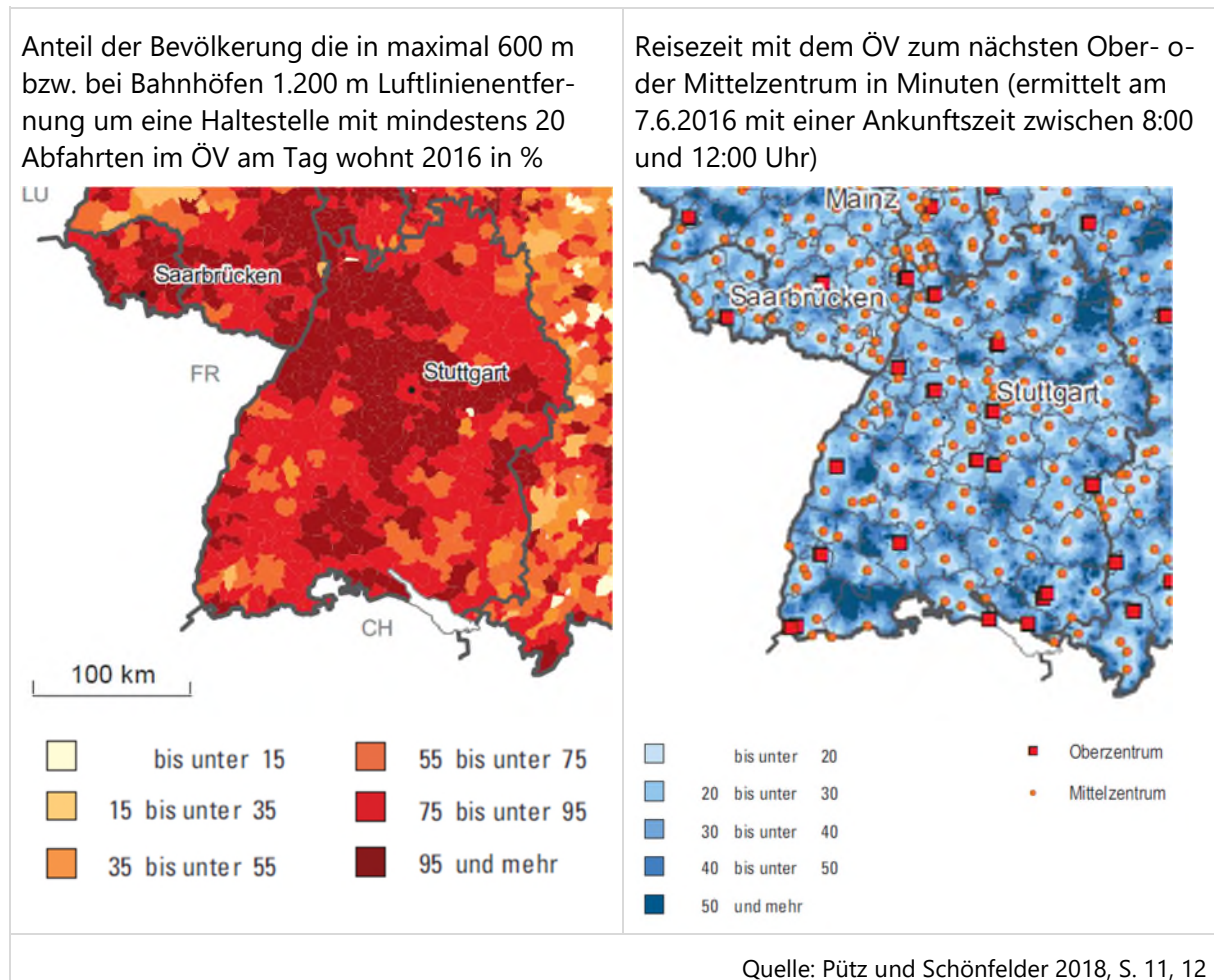
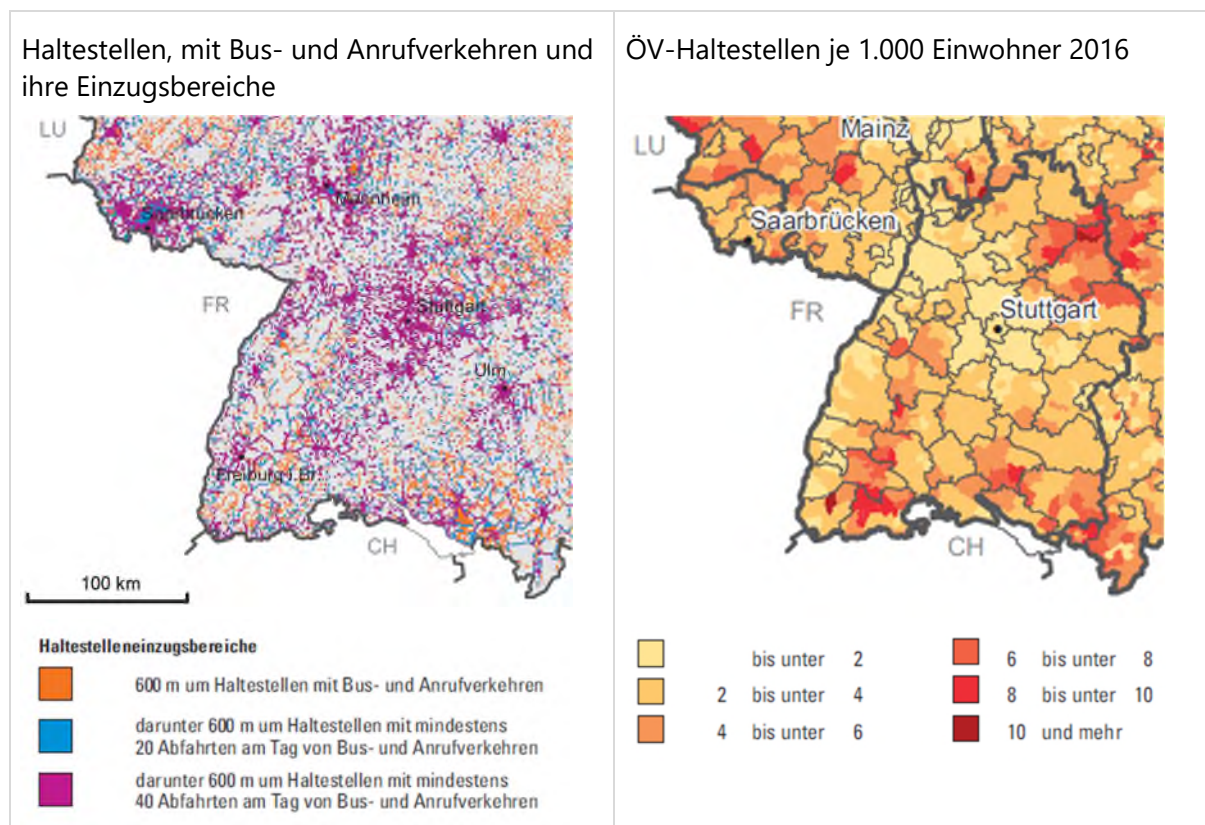


Abbildung 38: ÖV-Erschließungsqualität in BW

Für die ÖV-Versorgung des ländlichen Raumes sind flexible und bedarfsgerechte Angebote von Bedeutung. Die Autoren Pütz und Schönfelder (2018) stellen fest, "dass inzwischen in vielen ländlich geprägten Regionen bedarfsgerechte Verkehre wie Anrufsammeltaxen oder Rufbusse das Angebot ergänzen. Darin liegen auch mögliche Lösungsansätze für ein kosteneffizientes Angebot mit hoher Bedienungshäufigkeit." Obwohl die Haltestellendichte pro Einwohner in ländlichen Räumen wesentlich höher ist (Abbildung 39, rechts), ist die Versorgung mit Bussen und Anrufverkehren deutlich schlechter (links).



Quelle: Pütz und Schönfelder 2018, S. 8, 9

Abbildung 39: Haltestellendichte in BW

Deutlich wird, dass der Mobilitätspass mit abnehmender Siedlungsdichte eine geringere Akzeptanz haben und kleinere Wirkung entfalten wird. In größeren Städten ist zu bedenken, dass die vorhandenen Infrastrukturen in den Spitzenzeiten vielerorts bereits ausgelastet sind und zusätzliche Fahrgäste nur bewältigt werden können, wenn sehr kostenintensive Investitionen in neue Verkehrswege getätigt werden (Maaß et al. 2016, S. 56). Die Akzeptanz für den Mobilitätspass wird dann größer, wenn die Einführung des Passes mit den Investitionen begründet wird, die zu einer spürbaren Verbesserung der Angebotsqualität führen.

In ländlichen Räumen hingegen ist die Akzeptanz vermutlich geringer, weil ein entsprechendes ÖPNV-Angebot fehlt oder selbst mit den Zusatzeinnahmen aus einem Mobilitätspass nicht bereitgestellt werden kann. Es besteht die Gefahr, dass das Gefühl einer „Leistung ohne Gegenleistung“ dominiert, da die Freifahrtmöglichkeit für viele Fahrtenwünsche faktisch ohne Wert ist (Maaß et al. 2016, S. 55). Eine höhere Akzeptanz kann auch dort erzielt werden, wenn die Einnahmen zur Finanzierung von flexiblen Bedienungssystemen, wie Ruf- oder Bürgerbusse, Sammeltaxis, oder anderen bedarfsgesteuerten ÖV-Systemen verwendet wird. Für die Einführung eines solchen Systems sind geringere Investitionskosten zu kalkulieren, während die Subventionen höher als in Verdichtungsräumen ausfallen. Anzumerken ist darüber hinaus, dass aufgrund der höheren Pkw-Dichte, eine Nahverkehrsabgabe in ländlichen Räumen mehr Einnahmen pro Einwohner erzielt als in Städten.

6 Weitere Maßnahmen mit hoher Wirkung

Kuss und Nicholas (2022, S. 1506) sichteten fast 800 Dokumente über die reduzierte Autonutzung (369 wissenschaftliche Artikel und 407 Fallstudienberichte). Die Autoren fanden nur 24 Dokumente, die die reduzierte Autonutzung angemessen quantifizierten, von denen nur 10 von Fachleuten begutachtete Studien (peer review) waren. Unterschieden wird in Wirkungen auf das Stadtzentrum, auf die Pendler, auf Universitäten und Schulen, sowie in Wohngebieten. Die Straßenmaut erzielt die größten Wirkungen. Da dieses Thema schon vorher behandelt wurde, soll es nicht noch weiter erörtert werden, ebenso wie Zufahrtsbeschränkungen und Parkraum-Management.

Eine Zusammenstellung effektiver Maßnahmen und deren Wirkungen, die noch nicht im vorangegangenen Text aufgeführt wurden, wird in Tabelle 21 präsentiert. Der Mobilitätsservice für Pendler in Utrecht war am effektivsten bei der Verringerung der Zahl der Autonutzer mit einer erzielten Reduktion von 37 % der Pendler mit dem Pkw. Die Maßnahmen umfassten eine Kombination aus kostenlosem ÖPNV-Pass für Mitarbeiter, privater Shuttle-Bussen von lokalen Unternehmen zu Park and Ride-Stationen und Bahnhöfen und der Vermarktung und Kommunikation der Maßnahmen.

Das betriebliche Mobilitätsmanagement ist eine weitere Maßnahme, die den Pendlerverkehr mit dem Pkw reduziert. Die Maßnahmen wurden in 20 britischen Städten implementiert und umfassten eine Kombination aus Parkraumbewirtschaftung, Firmen-Shuttlebussen, öffentlichen Verkehrsmitteln und verbesserter Fahrradinfrastruktur. Die Wirkung war eine Verringerung des Autoverkehrs in den Betrieben um 18 % (Anzahl Pkw Fahrten). Weitere Maßnahmen umfassen das Mobilitätsmanagement an Universitäten und Schulen. Diese Wirkungen sind jedoch insgesamt als geringer einzuschätzen, da die Zahl der reduzierten Pkw Fahrten insgesamt geringer ist.

Tabelle 21: Effektivität von ausgewählten Maßnahmen zur Reduktion der Autonutzung

<i>Commuters</i>	Reduction of commuters travelling by car	Mobility Services for Commuters	Utrecht	37%
		Workplace Parking Charge	Rotterdam Nottingham	20–25% 8.6%
	Reduction of share of car use among commuters to workplace	Workplace Travel Planning	20 cities in GB	18%
			Norwich Graz Nantes Brighton & Hove	17.7% 12–14% 12% 3%
<i>University</i>	Reduction of share of car use among commuters to University	University Travel Planning	Bristol	27% (only staff)
		Mobility Services for University	Catania	24% (only students)
		University Travel Planning	San Sebastián	7.2% (staff and students)

Quelle: Kuss und Nicholas 2022, S. 1501

7 Zusammenfassung der Ergebnisse

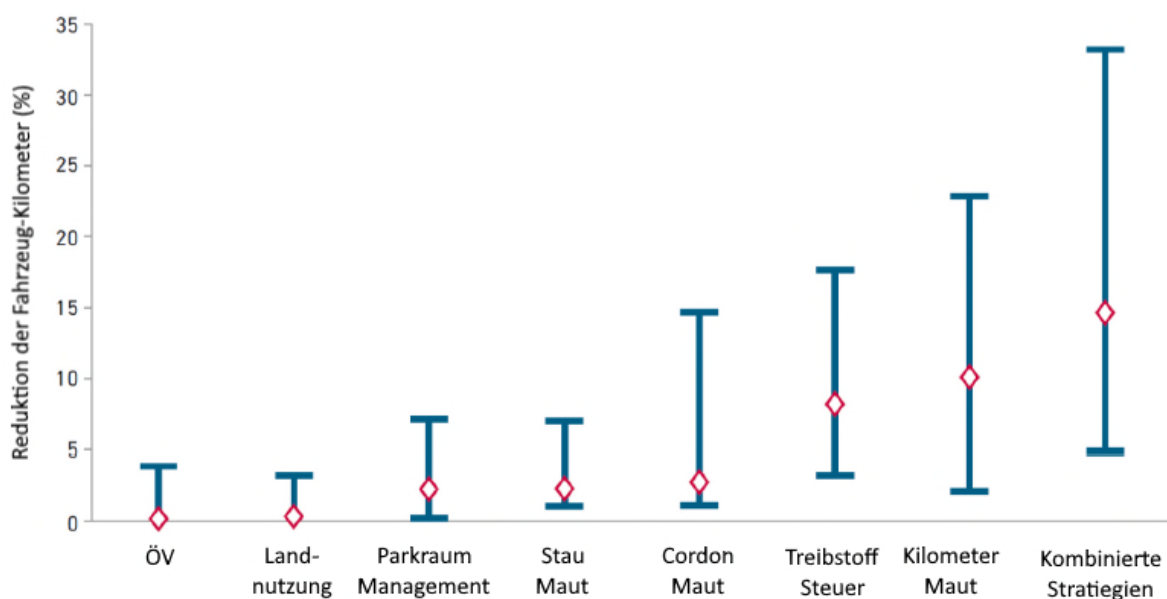
Die Bedeutung dieses Forschungsprojektes wird durch die Veröffentlichung von Kuss und Nicholas (2022, S. 1506) deutlich: Die Autorinnen untersuchten 800 Dokumente über die reduzierte Autonutzung (369 wissenschaftliche Artikel und 407 Fallstudienberichte) und fanden nur 24 Dokumente, die die reduzierte Autonutzung angemessen quantifizierten, von denen nur 10 von Fachleuten begutachtete Studien waren. Sie stellen fest: "die derzeitigen Unzulänglichkeiten im Forschungsdesign und in der Berichterstattung schränken die verwertbaren Erkenntnisse ein, die als Grundlage für politische Maßnahmen zur wirksamen Reduzierung der Autonutzung dienen können." Als Konsequenz fordern die Autorinnen, sich auf Ex-post-Analysen zu konzentrieren, um die Wirksamkeit von Interventionen zu bewerten, die für das politische Lernen wertvoller seien als geschätzte oder simulierte Reduktionen.

Dijk, et al. 2018 stimmen den Autorinnen zu und stellen fest, dass Ex-ante-Bewertungen das Wissen nutzen müssen, das durch Ex-post-Bewertungen gewonnen wurde. In den Verkehrsbehörden fehle es jedoch im Allgemeinen an Wissen über die Ergebnisse, die durch rückwirkende Analysen beobachtet werden. Dieser Forderung schließen Holz-Rau und Scheiner (2020) an, und fordern die "Wirksamkeit von Konzepten methodisch rigoros zu evaluieren und dabei auch eine mögliche Unwirksamkeit bisher favorisierter Konzepte zu thematisieren."

Axsen et al. (2021) vergleichen die Wirkungen preislicher Maßnahmen in Abbildung 40. Die stärksten Wirkungen entfaltet eine gemischte Strategie aus Straßenbenutzungsgebühren, verbessertem ÖPNV und kompakter Bebauung, welche die jährliche Pkw-Verkehrsleistung über einen Zeitraum von 10 Jahren um 7-23 % und über 30 Jahre um 15-26 % senken kann. Die starke Wirkung erklärt sich vor allem durch die Kombination von Push und Pull Maßnahmen. **Erwartungsgemäß hätte die Variante des geplanten Mobilitätspasses mit einer Kombination von Straßenmaut und Finanzierung des ÖPNV die größten Klimawirkungen.**

Die Einzelmaßnahme mit der größten Wirkung ist die City Maut, welche in London, Mailand, Stockholm und Göteborg zwischen 2,5 und 22 % der CO₂-Emissionen einspart (Axsen et al 2021). Selbstverständlich sind die Wirkungen vor allem abhängig von der Höhe der erhobenen Maut. Die Preiselastizität ist der geeignete Indikator, um diesen Zusammenhang zu quantifizieren. Der Vergleich der untersuchten Forschungen zu Mautsystemen zeigt, dass diese in der Regel zwischen -0,2 und -0,9 schwanken. Straßenbenutzungsgebühren haben auch das Potenzial, Rebound Effekte, die durch politische Maßnahmen erzeugt werden, zu reduzieren. Preisliche Maßnahmen im Parkraum Management und im ÖV haben dagegen wesentlich geringere Klimawirkungen.

Neben der Effektivität hinsichtlich der Klimawirkungen, beantworten Axsen et al (2021) auch die Frage nach den sozialen Kosten der Straßenmaut positiv, wobei der volkswirtschaftliche Nutzen in der Regel nicht durch die Klimawirkungen, sondern durch die Reduktion von Stauungen generiert werden. Sowohl die soziale Gerechtigkeit als auch die politische Akzeptanz können durch eine sorgfältige Ausgestaltung der Steuerbefreiungen und der Verwendung der Einnahmen verbessert werden. Schließlich ist der Umsetzungsprozess von großer Bedeutung für die Akzeptanz, der eine Konsultation der Interessengruppen, eine klare Kommunikation der Vorteile, möglicherweise eine Demonstrations- und Referendumsphase und idealerweise eine Einigung der politischen Parteien umfassen sollte.



Quelle: Axsen et al 2021

Abbildung 40: Wirkungen unterschiedlicher preislicher Maßnahmen auf die MIV-Fahrleistung

Ohne einen massiven Ausbau der Elektromobilität kann der Verkehrssektor seine Klimaziele nicht erreichen. Jedoch sind die Möglichkeiten der Kommunen, das Kaufverhalten für Pkw zu beeinflussen im Vergleich zum Bund relativ gering. Die Möglichkeiten der Bevorzugung der Elektromobilität durch das EmoG wurde von den Nutzern und potenziellen Kaufinteressenten gemessen an den Anteilen der Elektromobilität in den Kommunen mit Bevorzugungen positiv aufgenommen. Allerdings fahren einige Kommunen diese Bevorzugungen mittlerweile auch schon wieder zurück. Darüber hinaus wirken sich auch Fördermaßnahmen des Landes (z.B. der BW e-Solar-Gutschein) positiv auf den Markthochlauf der Elektromobilität aus.

Die empirischen Studien und modellmäßigen Berechnungen zu Maßnahmen des Parkraummanagements zeigen, dass die Einflussnahme auf Parkraumbewirtschaftung auf die Wahl des Verkehrsträgers wirkt und somit einen Teil zur Entwicklung nachhaltiger Mobilität beitragen kann. Dabei ist die Gebührenerhebung eine relativ schnelle und kostengünstige Methode, um auf das Verkehrsverhalten einzuwirken und den Pkw-Anteil am Modal Split zu reduzieren, deren Wirksamkeit in den Modellen von Widmer (2004) und M-Five (2022) höher angesehen wird als die der Stellplatzreduktion. Um Rebound Effekte zu vermeiden, eignet sich jedoch eine Kombination mit der Reduktion von Stellplätzen. Erhöhte Parkgebühren und längere Abgangs- und Suchzeiten, die sich durch Stellplatzreduktion ergeben, senken die Attraktivität für eine Fahrt den privaten Pkw zu nutzen. Wie eine Vielzahl an Forschungen zeigt, wirkt sich dieses deutlich auf den Modal Split aus. Die Rückgänge des Anteils vom Autoverkehr am Modal Split liegen häufig zwischen 1 und 13 Prozentpunkten und des Verkehrsaufkommens zwischen 3 und 24 %. Die Auswirkung auf die Nachfrage zeigt sich durch Elastizitäten zwischen -0,2 und -0,5, in Ausnahmefällen bis -1,2. Da Parksuchverkehr circa 30 % des innerstädtischen Verkehrs ausmacht, sind Informations- und Leitsysteme, sowie die Zentralisierung von Parkraum eine effektive Maßnahme die Verkehrsleistung zu reduzieren, indem der Parksuchverkehr 40 bis 50 % gesenkt wird. Die Zentralisierung und Reduktion von Straßenparkraum eignet sich ebenfalls, um den durch ruhenden Verkehr entstehenden Flächenverbrauch zu reduzieren und

somit zu lebhafteren Städten und höherer Verkehrssicherheit beizutragen. Durch höhere Bewohnerparkgebühren ist es möglich langfristig den Pkw-Bestand zu reduzieren und die zusätzlichen Einnahmen für andere verkehrliche Maßnahmen wie die Verbesserung des ÖPNV einzusetzen. Damit die Maßnahmen ihre Wirkung entfalten können ist es wichtig diese anhand von Kontrollen und Überwachung durchzusetzen und die Maßnahmen frühzeitig und transparent zu kommunizieren, sowie zusätzliche Pull-Maßnahmen durchzuführen.

Obwohl die Diskussion im Rahmen des 9-Euro Tickets die Frage der Preisgestaltung des ÖV in den Vordergrund gerückt hat, sind die Forschungen zu den Klimawirkungen preislicher Maßnahmen eher ernüchternd. Ähnlich pessimistisch sind die Forschungen zu den Wirkungen des ÖV-Ausbaus zu beurteilen. Es ist jedoch wissenschaftlicher Konsens, dass eine Kombination von Push und Pull zu erheblichen Wirkungen führen kann. Der Ausbau des ÖV ist eine *conditio sine qua non* dafür, dass die durch Push Maßnahmen verlagerten MIV-Verkehre aufgefangen werden.

Referenzen und weiterführende Literatur

- Aasness, M. A.; Odeck, J. (2015): The increase of electric vehicle usage in Norway— incentives and adverse effects. In: *European Transport Research Review*, 7 (4). <https://doi.org/10.1007/s12544-015-0182-4>.
- Abadie, A.; Diamond, A.; Hainmueller, J. (2010): Synthetic control methods for comparative case studies: estimating the effect of california's tobacco control program. In: *Journal of the American Statistical Association*, 105 (490), S. 493–505. <https://doi.org/10.1198/jasa.2009.ap08746>.
- ADAC (2019): Privilegien für Elektrofahrzeuge in Städten. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/vorteile-elektroauto-stadt/>.
- Agarwal, S.; Koo, K. M. (2016): Impact of electronic road pricing (ERP) changes on transport modal choice. In: *Regional Science and Urban Economics*, 60, S. 1–11.
- Agora Verkehrswende (2018): Klimaschutz 2030 im Verkehr: Maßnahmen zur Erreichung des Sektorziels.
- Agora Verkehrswende (2018): Öffentlicher Raum ist mehr wert. Ein Rechtsgutachten zu den Handlungsspielräumen in Kommunen. Online verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Oeffentlicher_Raum_ist_mehr_wert/Agora_Verkehrswende_Rechtsgutachten_oeffentlicher_Raum.pdf.
- Agora Verkehrswende (2019): Parkraummanagement lohnt sich! Leitfaden für Kommunikation und Verwaltungspraxis.
- Agora Verkehrswende (2021): Fotobeweis am Straßenrand: Wie digital unterstütztes Parkraummanagement die Sicherheit erhöhen kann und sich mit dem Verkehrs- und Datenschutzrecht vereinbaren lässt.
- Agora Verkehrswende (2022): Umparken – den öffentlichen Raum gerechter verteilen. Zahlen und Fakten zum Parkraummanagement.
- Agora Verkehrswende (Hrsg.) (2022): Wende im Pendelverkehr. Wie Bund und Kommunen den Weg zur Arbeit fairer und klimagerechter gestalten können. Online verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2022/Pendlerverkehr/77_Pendlerverkehr.pdf, zuletzt geprüft am 30.07.2023.
- Albrecht, T.; Garus, K.; Kühne, B.: Schluss mit den Parkraum-Mythen.
- Alexandros Dimitropoulos; Walid Oueslati; Christina Sintek (2016): The Rebound Effect in road transport, (113). <https://doi.org/10.1787/8516ab3a-en>.
- Allekotte, M. e. (2020): Ökologische Bewertung von Verkehrsarten. Umweltbundesamt.
- Allström, A.; Kristoffersson, I.; Susilo, Y. O. (2017): Smartphone based travel diary collection: experiences from a field trial in stockholm. In: *Transportation Research Procedia*, (26), S. 32–38.
- Andor, M. A.; Fink, L.; Frondel, M.; Gerster, A.; Horvath, M. (2021): Kostenloser ÖPNV: Akzeptanz in der Bevölkerung und mögliche Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten. In: *List Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik*, 46 (3), S. 299–325. <https://doi.org/10.1007/s41025-020-00207-y>.
- Andor, M. A.; Gerster, A.; Gillingham, K. T.; Horvath, M. (2020): Running a car costs much more than people think - stalling the uptake of green travel. In: *Nature*, 580 (7804), S. 453–455. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01118-w>.
- Andrew Kelly, J.; Peter Clinch, J. (2006): Influence of varied parking tariffs on parking occupancy levels by trip purpose. In: *Transport Policy*, 13 (6), S. 487–495. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.05.006>.

- Arancibia, D.; Farber, S.; Savan, B.; Verlinden, Y.; Smith Lea, N.; Allen, J.; Vernich, L. (2019): Measuring the local economic impacts of replacing on-street parking with bike lanes. In: *Journal of the American Planning Association*, 85 (4), S. 463–481.
<https://doi.org/10.1080/01944363.2019.1638816>.
- Arkhangelsky, D.; Athey, S.; Hirshberg, D. A.; Imbens, G. W.; Wager, S. (2019): Synthetic Difference in Differences. Working Paper. National Bureau of Economic Research.
<https://doi.org/10.3386/w25532>.
- Austrian Traffic Telematics Cluster (2011): CLIMATE. Climate impacts of modern applications in telematics. Online verfügbar unter <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/BGR0442011FSCLIMATE.pdf>.
- Axhausen, K. W.; Fröhlich, P. (2012): Übersicht zu Stated Preference-Studien in der Schweiz und Abschätzung von Gesamtelastizitäten. Statusbericht 2012.
- Axhausen, K. W.; Molloy, J.; Tchervenkov, C.; Becker, F.; Hintermann, B.; Schoeman, B.; Götschi, T.; Castro Fernández, A.; Tomic, U. (2021): Empirical analysis of mobility behavior in the presence of Pigovian transport pricing. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000500100>.
- Axsen, J.; Wolinetz, M. (2021): Taxes, tolls and ZEV zones for climate: Synthesizing insights on effectiveness, efficiency, equity, acceptability and implementation. In: *Energy Policy*, 156, S. 112457.
- Ayala, D.; Wolfson, O.; Xu, B.; DasGupta, B.; Lin, J. (2012): Pricing of parking for congestion reduction. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems (SIGSPATIAL 2012 International Conference on Advances in Geographic Information Systems)*, 06 11 2012 09 11 2012, Redondo Beach California. New York, USA, S. 43–51.
<https://doi.org/10.1145/2424321.2424328>.
- Bain, R. (2019): Toll road pricing: Demand elasticity and affordability. A State-of-the-Practice Review. Online verfügbar unter <http://www.robbain.com/Price%20Elasticity%20Incomplete%20Draft.pdf>.
- Bardal, K. G.; Gjertsen, A.; Reinart, M. B. (2020): Sustainable mobility: Policy design and implementation in three Norwegian cities. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 82, S. 102330. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102330>.
- Barrencua, X. G.; Gandariasbeitia, I. E. (2014): Sustainable mobility in Vitoria-Gasteiz. innovation from a comprehensive and participatory mobility model.
- Barter, P. (2016): On-Street Parking Management. An International Toolkit. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Batty, P.; Palacin, R.; González-Gil, A. (2015): Challenges and opportunities in developing urban modal shift. In: *Travel Behaviour and Society*, 2 (2), S. 109–123.
<https://doi.org/10.1016/j.tbs.2014.12.001>.
- Bauer, U.; Hertel, M.; Hanke, S. (2016): Parkraumbewirtschaftung - Nutzen und Effekte. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH. Online verfügbar unter <https://repository.difu.de/jspui/handle/difu/238531>.
- Berger, W. (2002): The Austrian HOV-Lane - Experiences in implementation and operation.
- Beria, P. (2016): Effectiveness and monetary impact of Milan's road charge, one year after implementation. In: *International Journal of Sustainable Transportation*, 10 (7), S. 657–669.
<https://doi.org/10.1080/15568318.2015.1083638>.
- Bernasconi, S. (2016): Konzeptbericht Mobility Pricing: Ansätze zur Lösung von Verkehrsproblemen für Strasse und Schiene in der Schweiz.

- Bieker, G. (2021): A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. ICCT.
- Bjerkar, K. Y.; Nørbech, T. E.; Nordtømme, M. E. (2016): Incentives for promoting Battery Electric Vehicle (BEV) adoption in Norway. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 43, S. 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.002>.
- Blees, V. (2021): Fehlnutzung des öffentlichen Straßenraums durch parkende Kraftfahrzeuge. - Fallstudie am Beispiel Darmstadt-Arheilgen. Wiesbaden: Hochschule RheinMain. Online verfügbar unter https://www.hs-rm.de/fileadmin/Home/Fachbereiche/Architektur_und_Bauingenieurwesen/Studiengaenge/Mobilitaetsmanagement_B.Eng./Publikationen/Blees_Fehlnutzung-oeffentlicher_Strassenraum_21-08-15.pdf.
- BMDV (2017): Mobilität in Tabellen 2017. Online verfügbar unter <https://mobilitaet-in-tabellen.dlr.de/>.
- Borhan; Muhamad Nazri; Syamsunur, D.; Norliza Mohd Akhir; Muhamad Razuhanafi Mat Yazid; Amiruddin Ismail; Riza Atiq Rahmat (2014): Predicting the use of public transportation: a case study from Putrajaya, Malaysia. In: The Scientific World Journal.
- Boriboonsomsin, K.; Barth, M. (2007): Evaluating air quality benefits of freeway High-Occupancy Vehicle lanes in Southern California. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2011 (1), S. 137–147. <https://doi.org/10.3141/2011-15>.
- Börjesson, M. (2018): Long-Term Effects of the Swedish Congestion Charges. <https://doi.org/10.1787/d944f94b-en>.
- Börjesson, M.; Kristoffersson, I. (2015): The Gothenburg congestion charge. Effects, design and politics. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 75, S. 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.03.011>.
- Börjesson, M.; Kristoffersson, I. (2018): The Swedish congestion charges: Ten years on. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, (107), S. 35–51.
- Boston Consulting Group; Prognos (2019): Analyse Klimapfade Verkehr 2030.
- Breher, N.; Lehmann, H. (2022): Wie viele Autos stehen in meiner Nachbarschaft? Diese Berliner Kieze bestehen am meisten aus Parkplätzen. Online verfügbar unter <https://interaktiv.tagesspiegel.de/lab/wie-viele-autos-gibt-es-in-meiner-nachbarschaft-diese-berliner-kieze-bestehen-am-meisten-aus-parkplaetzen/>, zuletzt geprüft am 30.07.2023.
- Breisig, V.; Hess, B.; Rath, L. (2022): Ökonomische Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr.
- Brenck, A.; Gipp, C.; Moschner, S. (2020): Gutachten: Mobilitätspass. Finanzielle Auswirkungen ausgewählter Instrumente der Drittnutzerfinanzierung im ÖPNV für vier Modellkommunen/-regionen. Berlin.
- Brenck, A.; Mituschi, K.; Winter, M. (2007): Die externen Kosten des Verkehrs. In: Schöller, O.; Canzler, W.; Knie, A. (Hrsg.): Handbuch Verkehrspolitik. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 425–452. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90337-8_19.
- Bridging IT Gruppe (2021): Rechtliche Handlungsmöglichkeiten für das Land Baden-Württemberg für Klimaschutz im Verkehrssektor. Im Auftrag des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg. Mannheim.
- Broadbus, A.; Litman, T.; Menon, G. (2009): Transportation Demand Management. Training Document.
- Buehler, R.; Pucher, J.; Gerike, R.; Götschi, T. (2017): Reducing car dependence in the heart of Europe: lessons from Germany, Austria, and Switzerland. In: Transport Reviews, 37 (1), S. 4–28. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1177799>.

- Bundesamt für Raumentwicklung ARE: Übersicht zu Stated Preference-Studien in der Schweiz und Abschätzung von Gesamtelastizitäten. Statusbericht 2012.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Eröffnungsbilanz Klimaschutz. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=8, zuletzt geprüft am 17.05.2022.
- Caceres, N.; Wideberg, J. P.; Benitez, F. G. (2008): Review of traffic data estimations extracted from cellular networks. In: IET Intelligent Transport Systems, 2 (3), S. 179. <https://doi.org/10.1049/iet-its:20080003>.
- Canzler, W.; Knie, A. (2020): Die Citymaut. Neuer Freiraum für die Verkehrspolitik in Zeiten des Wandels. München: oekom. Online verfügbar unter https://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783962387983.
- Cats, O.; Susilo, Y. O.; Reimal, T. (2017): The prospects of fare-free public transport: evidence from Tallinn. In: Transportation, 44 (5), S. 1083–1104. <https://doi.org/10.1007/s11116-016-9695-5>.
- Cavallaro, F.; Giaretta, F.; Nocera, S. (2018): The potential of road pricing schemes to reduce carbon emissions. In: Transport Policy, 67, S. 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.006>.
- Chimba, D.; Camp, J. (2018): High Occupancy Vehicle (HOV) Detection System Testing. Department of Civil and Architectural Engineering: Tennessee State University; Department of Civil and Environmental Engineering: Vanderbilt University. Online verfügbar unter <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/55054>.
- Chin, K.-K. (2005): Road pricing – Singapore’s 30 years of experience. CESifo DICE Report, 3 (3) 12–16.
- CIVITAS (2021): Bicycles and Parking Management in Vitoria Gasteiz. Online verfügbar unter <https://civitas.eu/news/bicycles-and-parking-management-in-vitoria-gasteiz>.
- Clausen, J. (2017): Elektromobilität in Norwegen. Fallstudie im Rahmen des Projekts Evolution2Green - Transformationspfade zu einer Green Economy. Evolution2Green.
- Cordera, R.; Canales, C.; dell’Olio, L.; Ibeas, A. (2015): Public transport demand elasticities during the recessionary phases of economic cycles. In: Transport Policy, 42, S. 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.05.022>.
- Costa, Á.; Rocha, C.; Melo, S. (2014): Parking management policies and the effectiveness of public policy solutions. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences, 111, S. 965–973. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.131>.
- Cui, H.; Gode, P.; Wappelhorst, S. (2021): A global overview of zero-emission zones in cities and their development progress. Online verfügbar unter <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/12/global-cities-zez-dev-EN-aug21.pdf>.
- Cyrys, J.; Wichmann, H.-E.; Rückerl, R.; Peters, A. (2018): Umweltzonen in Deutschland : Probates Mittel zur Einhaltung geltender Luftqualitätsstandards? In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz, 61 (6), S. 645–655. <https://doi.org/10.1007/s00103-018-2741-z>.
- Dale, S.; Frost, M.; Ison, S.; Budd, L. (2019): The impact of the Nottingham Workplace Parking Levy on travel to work mode share. In: Case Studies on Transport Policy, 7 (4), S. 749–760. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.09.001>.
- Damerau, M.; Baston, A.-M. (2020): Guidelines for integrated low-carbon mobility planning in functional urban areas. Interreg Central Europe. Interreg Central Europe. Online verfügbar unter <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/CE1100-LOW-CARB-D.T1.5.5-Guidelines-for-integrated-planning-.pdf>.

- Dargay, J. M. (2002): Determinants of car ownership in rural and urban areas: a pseudo-panel analysis. In: *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38 (5), S. 351–366. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(01\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(01)00019-9).
- DeJong, G.; Gunn, H. (2001): Recent Evidence on Car Cost and Time Elasticities of Travel Demand in Europe. In: *Journal of Transport Economics and Policy*, 35 (2), S. 137–160.
- Der Rechnungshof (Hrsg.) (2017): Bericht des Rechnungshofes. Erweiterung der Parkraumbewirtschaftung Wien. Online verfügbar unter https://www.rechnungshof.gv.at/rh/home/home/Erweiterung_der_Parkraumbewirtschaftung_Wien.pdf, zuletzt geprüft am 30.07.2023.
- Diamond, D. (2008): Impact of High Occupancy Vehicle (HOV) lane incentives for hybrids in Virginia. In: *Journal of Public Transportation*, 11 (4), S. 39–58. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.11.4.3>.
- Die Bundesregierung (Hrsg.) (2020): Einsatz von Smart Parking zur CO₂-Reduzierung. Online verfügbar unter <https://dserver.bundestag.de/btd/19/165/1916513.pdf>, zuletzt geprüft am 30.07.2023.
- Diegmann, V.; Pfäfflin, F. (2015): Auswertung der Wirkung von Umweltzonen auf die Erneuerung der Fahrzeugflotten in deutschen Städten. Endbericht.
- Dietl, K.; Reinhold, T. (2022): Das 9-Euro-Ticket: Verkehrspolitik oder Sozialpolitik?: Eine Bewertung aus Frankfurter Sicht. In: *Internationales Verkehrswesen*, 2022 (74 (4)), S. 15–19.
- Difu (2015): Push & Pull, 16 gute Gründe für Parkraummanagement. Parkraummanagement und Anreize als erfolgreiche und bewährte Strategien für energieeffizienten städtischen Verkehr. Online verfügbar unter <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/224427/1/DM15052760.pdf>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- DIHK (Hrsg.) (2018): Praxisleitfaden Betriebliches Mobilitätsmanagement. Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz. Online verfügbar unter https://www.mittelstand-energiewende.de/fileadmin/user_upload_mittelstand/MIE_vor_Ort/MIE-Praxisleitfaden_Betriebliches_Mobilit%C3%A4tsmanagement.pdf, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Dijk, M.; Givoni, M.; Diederiks, K. (2018): Piling up or packaging policies? an ex-post analysis of modal shift in four cities.
- DLR (2016): Handbuch methodischer Grundlagen zur Masterplan-Erstellung. Online verfügbar unter https://elib.dlr.de/104751/1/Handbuch%20methodischer%20Grundfragen_BILDSCHIRM_201602_05.pdf.
- Dünnebeil, F.; Knörr, W.; Heidt, C.; Heuer, C.; Lambrecht, U. (2012): Balancing transport greenhouse gas emissions in cities. A review of practices in Germany. IFEU Heidelberg.
- ECOPLAN; EPFL; FHNW (Hrsg.) (2015): Wirkungsabschätzung CO₂-Abgabe. Schlussbericht. Bern.
- Eichhorst, U.; Bongardt, D. (2017): MobiliseYourCity - Monitoring & reporting approach for GHG emissions.
- Eliasson, J.; Jonsson, L. (2011): The unexpected “yes”: explanatory factors behind the positive attitudes to congestion charges in Stockholm. In: *Transport Policy* 18, (4), S. 636–647.
- Eliasson, J. (2014): The Stockholm congestion charges: an overview. CTS Working Paper 2014:7. KTH Royal Institute of Technology.
- Eliasson, J.; Mattson, L.-G. (2001): Transport and location effects of road pricing: a simulation approach. In: *Journal of Transport Economics and Policy*, 2001 (Volume 35, Part 3), S. 417–456.

- Elvaas, T. (2020): How Oslo Reached Vision Zero. Inside the Car-free Livability Program that transformed Norway's capital. Online verfügbar unter <https://medium.com/vision-zero-cities-journal/how-oslo-reached-vision-zero-b952aed44697>, zuletzt geprüft am 19.03.2023.
- Eriksson, L.; Garvill, J.; Nordlund, A. (2008): Acceptability of single and combined transport policy measures: The importance of environmental and policy specific beliefs. In: Transportation Research Part A-policy and Practice, 42, S. 1117–1128.
- European Environment Agency (2023): Greenhouse gas emissions by source sector. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_GGE_custom_7009851/default/table?lang=en, zuletzt geprüft am 25.07.2023.
- European Investment Bank (2022): EIB Project Carbon Footprint Methodologies. Methodologies for the assessment of project greenhouse gas emissions and emission variations. Version 11.2. Luxembourg.
- Evangelinos, C.; Matthes, A.; Lösch, S.; Hofmann, M. (2010): Parking Cash-Out. ein innovativer Ansatz zur betrieblichen Effizienzsteigerung und Verkehrslenkung. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/254460512_Parking_Cash-Out_-_ein_innovativer_Ansatz_zur_betrieblichen_Effizienzsteigerung_und_Verkehrslenkung, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Evans, R. (2008): Elasticities for Car Trips to Central London as revealed by the Central London Congestion Charge. Prepared by for the Modelling and Evaluation Team. Transport for London, Policy Analysis Division.
- Fabian Bergk, Kirsten Biemann, Christoph Heidt, Wolfram Knörr, Udo, Lutz Ickert, Martin Schmied, Patrick Schmidt, Werner Weindorf (2016): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/texte_56_2016_klimaschutzbeitrag_des_verkehrs_2050_getagged.pdf.
- Fahim, A.; Hasan, M.; Chowdhury, M. A. (2021): Smart parking systems: comprehensive review based on various aspects. In: Heliyon, 7 (5), e07050. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07050>.
- Fallah, N.; farahani, A.; Fitzpatrick, C. (2022): A big-data analysis of the potential rebound effect of electric vehicles on vehicle kilometers travelled. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2255887/v1>.
- Fang, Z.; Jian-yu, L.; Jin-jun, T.; Xiao, W.; Fei, G. (2018): Identifying activities and trips with GPS data. In: IET Intelligent Transport Systems, 12 (8), S. 884–890. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0405>.
- Fearnley; Pfaffenbichler; Figenbaum; Jellinek (2015): E-vehicle policies and incentives Oslo. Assessment and Recommendations. Online verfügbar unter <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=41187>.
- Fearnley, N. (2013): Free fares policies: impact on public transport mode share and other transport policy goals. In: International Journal of Transportation, (1 (1)), 75–99.
- Feeney, B. P. (1989): A review of the impact of parking policy measures on travel demand. In: Transportation Planning and Technology, 13 (4), S. 229–244. <https://doi.org/10.1080/03081068908717403>.
- FIS (2003): Individuelle Information über das Parkraumangebot. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Online verfügbar unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/42446/>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- FIS (2003): Kollektive Parkinformation. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Online verfügbar unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/37372/>, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

- FIS (2003): Parkraummanagement zur Sicherstellung der Parksituation im städtischen Raum. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Online verfügbar unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/29145/>, zuletzt geprüft am 21.03.2023.
- FIS (2010): Bauplanungsrecht im Zusammenhang mit Parkraummanagement. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Online verfügbar unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/300708/?clsId0=276646&clsId1=276649&clsId2=276881&clsId3=0>, zuletzt geprüft am 22.03.2023.
- FIS (2022): E Klima 2022. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Empfehlungen zur Anwendung und Weiterentwicklung von FGSV-Veröffentlichungen im Bereich Verkehr zur Erreichung von Klimaschutzziele. Klimarelevante Vorgaben, Standards und Handlungsoptionen zur Berücksichtigung bei der Planung, dem Entwurf und dem Betrieb von Verkehrsangeboten und Verkehrsanlagen. Online verfügbar unter <https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/990.v.pdf>; <https://www.fgsv-verlag.de/e-klima-2022-steckbriefe>, zuletzt geprüft am 10.01.23.
- Fischer, K. (2022): Problem Auto. Wie Deutschland die Mobilitätswende sabotiert. Online verfügbar unter <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/03/problem-auto-wie-deutschland-die-mobilitaetswende-sabotiert>, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- Flade, A. (2007): Die sozialen Kosten des Verkehrs. In: Schöller, O.; Canzler, W.; Knie, A. (Hrsg.): Handbuch Verkehrspolitik. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 490–509. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90337-8_22.
- Fliessbaden (2022): Bewohnerparkgebühren in Deutschland. Online verfügbar unter <https://fliessbaden.de/2022/07/04/bewohnerparkgebuehren-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 26.03.2023.
- Fong, Wee Kean et al. (2021): Global protocol for community-scale greenhouse gas inventories. An accounting and reporting standard for cities. Version 1.1.
- Francke; Angela; Lißner, S. (2017): Big Data im Radverkehr. Ein anwendungsorientierter Leitfaden zur Nutzung von smartphone-generierten Radverkehrsdaten. Dresden.
- Frehn, M.; Diesfeld, J.; Mattner, T. (2018): Parkraumerhebung und -konzept für die Innenstadt von Ahaus. Endbericht. Dortmund: Planersocietät – Stadtplanung, Verkehrsplanung, Kommunikation. Online verfügbar unter https://www.o-sp.de/ahaus/pdf/180709_parkraumkonzept_ahaus_endbericht_klein.pdf, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Friesen, M.; Mingardo, G. (2020): Is parking in Europe ready for dynamic pricing? A reality check for the private sector. In: Sustainability, 12 (7), S. 2732. <https://doi.org/10.3390/su12072732>.
- Fritsch, M. (26.02.2023): Parkgebühren: Stadt Freiburg schlägt neue Gebühren-Kategorie für Motorräder vor. In: Badische Zeitung. Online verfügbar unter <https://www.badische-zeitung.de/parkgebuehren-stadt-freiburg-schlaegt-neue-gebuehren-kategorie-fuer-motorraeder-vor--245246080.html>, zuletzt geprüft am 30.07.2023.
- Fröhlich, P.; Vrtic, M.; Kern, P.; Huber, R.; Dittrich, T. (2007): Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung.
- Galbraith, R. A.; Hensher, D. A. (1982): Intra-metropolitan transferability of mode choice models. In: Journal of Transport Economics and Policy, 16 (1), S. 7–29.
- Gan, H.; Wang, Q. (2013): Emissions impacts of the Park-and-Ride Strategy: A case study in Shanghai, China. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences, 96, S. 1119–1126. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.128>.

- Gao, H.; Liu, F. (2013): Estimating freeway traffic measures from mobile phone location data. In: *European Journal of Operational Research*, 229 (1), S. 252–260.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.02.044>.
- Geng, Y.; Cassandras, C. G. (2013): New "Smart Parking" system based on resource allocation and reservations. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14 (3), S. 1129–1139.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2252428>.
- Gerlach, J.; Huebner, S.; Becker, T.; Becker, U. J. (2015): Entwicklung von Indikatoren im Bereich Mobilität für die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie.
- Gipp, C. (2020): Gutachten zum Mobilitätspass: Finanzielle Auswirkungen ausgewählter Instrumente der Drittnutzerfinanzierung im ÖPNV für vier Modellkommunen/-regionen. Fachveranstaltung zur Vorstellung des Gutachtens zum Mobilitätspass. Vortrag, Online, 20. November 2020. IGES Institut.
- Goodwin, P.; Dargay, J. M.; HANLY, M. (2004): Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A Review. In: *Transport Reviews*, 24 (3), S. 275–292.
<https://doi.org/10.1080/0144164042000181725>.
- Graham-Rowe, E.; Skippon, S.; Gardner, B.; Abraham, C.: Can we reduce car use and if so, how? A review of available evidence. *Transp. Res. Part A: Policy and Practice* 45 (5), 401–418.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.02.001>. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011, S. 401–418.
- Groote, J. de; van Ommeren, J.; Koster, H. R. (2016): Car ownership and residential parking subsidies: Evidence from Amsterdam. In: *Economics of Transportation*, 6, S. 25–37.
<https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2016.07.001>.
- Hagen, O. H.; Tennøy, A. (2021): Street-space reallocation in the Oslo city center: Adaptations, effects, and consequences. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 97, S. 102944. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102944>.
- Hagen, T.; Reining, M. (2019): Übersicht über mögliche ökonomische Auswirkungen von City-Mauts.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17891.91686>.
- Hammadou, H.; Papaix, C. (2015): Policy packages for modal shift and CO2 reduction in Lille, France. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 38, S. 105–116.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.008>.
- Handrich, M.; Merkle, S.; Christ, N.; Bienzeisler, B. (2021): Das Parkhaus der Zukunft als vernetzter „Urban Hub“. <https://doi.org/10.1002/bate.202100024>.
- Harmatuck, D. J. (2007): Revealed parking choices and the Value of Time. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2010 (1), S. 26–34.
<https://doi.org/10.3141/2010-04>.
- Hautzinger, H.; Mayer, K.; Helms, M.; Kern, C.; Wiesenhütter, M.; Haag, G.; Binder, J. (2004): Analyse von Änderungen des Mobilitätsverhaltens - insbesondere der Pkw-Fahrleistung - als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Schlussbericht zum Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Heilbronn.
- Haworth, S.; Hilton, I. C. (1982): Car Parking Standards and the Urban Economy. In: *Traffic engineering and control*, 23.
- Heinitz, F. (2020): Vertiefende Analyse der Vor- und Nachteile von P+R. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_19_texte_214_2020_personenbefoerderung_tb_3.pdf, zuletzt geprüft am 31.07.2023.

- Hekler, M. e. (2022): Push & Pull: Aktueller Forschungsstand. In: Internationales Verkehrswesen, (4).
- Helms, H.; Kämper, C.; Biermann, K.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J. (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Berlin: ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung.
- Hendzlik, M.; Lange, M.; Klöckner, P.; Lambrecht, M.; Frey, K.; Schmied, M.; Dziekan, K.; Dross, M. (2022): Klimaschutzinstrumente im Verkehr. Bausteine für einen klimagerechten Verkehr. Umweltbundesamt.
- Hensher, D. A.; King, J. (2001): Parking demand and responsiveness to supply, pricing and location in the Sydney central business district. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 35 (3), S. 177–196. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00054-3).
- Hertle, H.; Dünnebeil, F.; Gugel, B.; Rechsteiner, E.; Reinhard, C. (2019): Bisko - Bilanzierungs-Systematik Kommunal. Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland.
- Hertle, H.; Dünnebeil, F. F.; Gebauer, C.; Gugel, B.; Heuer, C.; Kutzner, F.; Vogt, R. (2014): Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland. Im Rahmen des Vorhabens „Klimaschutz-Planer – Kommunal Planungsassistent für Energie und Klimaschutz“. Heidelberg.
- Hess, D. B. (2001): Effect of Free Parking on Commuter Mode Choice: Evidence from travel diary data. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1753 (1), S. 35–42. <https://doi.org/10.3141/1753-05>.
- Holmgren, J. (2007): Meta-analysis of public transport demand. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 41 (10), S. 1021–1035. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.06.003>.
- Holz-Rau, C.; Scheiner, J. (2020): Raum und Verkehr - ein Feld komplexer Wirkungsbeziehungen : Können Interventionen in die gebaute Umwelt klimawirksame Verkehrsemissionen wirklich senken? In: Reutter, U.; Holz-Rau, C.; Albrecht, J.; Hülz, M. (Hrsg.): Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels. = Interations between mobility and spatial development in the context of social change. Hannover: ARL - Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft. ISBN: 978-3-88838-099-0, S. 76–101.
- Hössinger, R.; Uhlmann, T. (2012): Vorher-Nachher-Analyse der Erhöhung der Parkgebühren in Wien am 01. März 2012. Endbericht. Institut für Verkehrswesen, BOKU Wien.
- Hrelja, R.; Rye, T. (2022): Decreasing the share of travel by car. Strategies for implementing ‘push’ or ‘pull’ measures in a traditionally car-centric transport and land use planning. In: International Journal of Sustainable Transportation, S. 1–13. <https://doi.org/10.1080/15568318.2022.2051098>.
- Huber, M.; Meier, J.; Wallimann, H. (2022): Business analytics meets artificial intelligence: Assessing the demand effects of discounts on Swiss train tickets. In: Transportation Research Part B: Methodological, 163, S. 22–39. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.06.006>.
- Huwe, V.; Gessner, J. (2020): Are there rebound effects from electric vehicle adoption? Evidence from German household data. In: SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3711321>.
- Hymel, K. M.; Small, K. A.; van Dender, K. (2010): Induced demand and rebound effects in road transport. In: Transportation Research Part B: Methodological, 44 (10), S. 1220–1241. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2010.02.007>.
- IFEU (2023): Kosten von Parkraum. Ad-hoc-Beratung für das Verkehrsministerium Baden-Württemberg. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Online verfügbar unter <https://www.klimaschutz-bewegt.de/aktuelle-studie-zum-thema-kosten-von-parkraum/>.
- INFRAS (2019): Mobility Pricing. Wirkungsanalyse am Beispiel der Region Zug. Schlussbericht.

- INFRAS (2022): Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBefa). Version 4.2. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.hbefa.net/d/index.html>.
- INRIX (2017): Deutsche verschwenden 41 Stunden im Jahr bei der Parkplatzsuche. Online verfügbar unter <https://inrix.com/press-releases/parking-pain-de>, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- MID (2018): Mobilität in Deutschland 2017 – Ergebnisbericht. Institut für angewandte Sozialwissenschaft, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; IVT Research; infas 360. Online verfügbar unter https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-ergebnisbericht.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 25.07.2023.
- Institute for Transportation and Development Policy (2011): Manual for Calculating Greenhouse Gas Benefits of Global Environment Facility Transportation Projects.
- International Transport Forum (2023): Public transport pricing. Online verfügbar unter <https://www.itf-oecd.org/policy/public-transport-pricing>, zuletzt geprüft am 14.03.2023.
- Internationales Verkehrswesen (2017): Mobilfunkdaten mit gutem Potenzial für Verkehrsplanung. In: Internationales Verkehrswesen.
- ITP; IVV; Trimode; Planco (2017): Klimaschutz-Szenario Baden-Württemberg 2030. Schlussbericht. München, Aachen, Freiburg, Essen.
- Janecek, A.; Valerio, D.; Hummel, K. A.; Ricciato, F.; Hlavacs, H. (2015): The Cellular Network as a Sensor: From Mobile Phone Data to Real-Time Road Traffic Monitoring. In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16 (5), S. 2551–2572. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2413215>.
- Janson, M.; Levinson, D. (2013): HOT or Not: Driver Elasticity to Price on the MnPASS HOT Lanes. Working Papers. University of Minnesota: Nexus Research Group. Online verfügbar unter <https://EconPapers.repec.org/RePEc:nex:wpaper:hotornot>.
- Javid, R. J.; Nejat, A.; Hayhoe, K. (2017): Quantifying the environmental impacts of increasing high occupancy vehicle lanes in the United States. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 56, S. 155–174. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.031>.
- Johansson, O.; Schipper, L. (1997): Measuring the long-run fuel demand of cars: separate estimations of vehicle stock, mean fuel intensity, and mean annual driving distance. In: Journal of Transport Economics and Policy, 31 (3), S. 277–292.
- Juan Nicolas Gonzalez; Jose Perez-Doval; Juan Gomez; Jose Manuel Vassallo (2021): What impact do private vehicle restrictions in urban areas have on car ownership? Empirical evidence from the city of Madrid. In: Cities, 116, S. 103301. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103301>.
- Juan Nicolas Gonzalez; Juan Gomez; Jose Manuel Vassallo (2022): Do urban parking restrictions and Low Emission Zones encourage a greener mobility? In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 107, S. 103319. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103319>.
- Kaddoura, I.; Laudan, J.; Ziemke, D.; Nagel, K. (2020): Verkehrsmodellierung für das Ruhrgebiet: Simulationsbasierte Szenariountersuchung und Wirkungsanalyse einer verbesserten regionalen Fahrradinfrastruktur. In: Neue Dimensionen der Mobilität. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte.
- Kelly, J. A.; Clinch, J. P. (2009): Temporal variance of revealed preference on-street parking price elasticity. In: Transport Policy, 16 (4), S. 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.06.001>.
- Kholodov, Y.; Jenelius, E.; Cats, O.; van Oort, N.; Mouter, N.; Cebecauer, M.; Vermeulen, A. (2021): Public transport fare elasticities from smartcard data: Evidence from a natural experiment. In: Transport Policy, 105, S. 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.03.001>.

- Kienzlen, V.; Franke, M.; Sawillion, M.; Riel, J.; Kagerbauer, M.; Lambrecht, U.; Blanck, R.; Rasch, G. (2020): Kommunale Handlungsmöglichkeiten für nachhaltigere Mobilität. Online verfügbar unter https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Positionspapier_Kommunale_Handlungsm%C3%B6glichkeiten_f%C3%BCr_nachhaltigere_Mobilit%C3%A4t_04_2020.pdf.
- Kirschner, F.; Lanzendorf, M. (2020): Parking management for promoting sustainable transport in urban neighbourhoods. A review of existing policies and challenges from a German perspective. In: *Transport Reviews*, 40 (1), S. 54–75. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1666929>.
- Knie, A.; Canzler, W. (2020): City-Maut Berlin 2021. Non-Paper zur Einführung einer City-Maut.
- Knörr, W.; Heidt, C.; Gores, S.; Bergk, F. (2016): Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2035“ (TREMODO) für die Emissionsberichterstattung 2016. (Berichtsperiode 1990-2014). Im Auftrag des Umweltbundesamtes. IFEU.
- Kodransky, M.; Hermann, G. (2011): Europe's parking u-turn: from accommodation to regulation.
- Kompetenznetz Klima Mobil (2021): Mutig voran beim Klimaschutz im Verkehr. Good-Practice-Beispiele im Handlungsfeld: Parkraummanagement und Umnutzung von Parkraum.
- Kooshian, C.; et al. (2018): Compendium on Greenhouse Gas Baselines and Monitoring. Passenger and Freight Transport. ICCT.
- Kotilainen, K.; Aalto, P.; Valta, J.; Rautiainen, A.; Kojo, M.; Sovacool, B. K. (2019): From path dependence to policy mixes for Nordic electric mobility: Lessons for accelerating future transport transitions. In: *Policy Sciences*, 52 (4), S. 573–600. <https://doi.org/10.1007/s11077-019-09361-3>.
- Krail, M. (2019): Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr.
- Krämer, A.; Korbut, A. (2022): Das 9-Euro-Ticket: Ziele, Wirkungsmechanismen und Perspektiven. In: *Internationales Verkehrswesen*, (3), S. 10–13.
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2022): Eckpunkte Landeskonzept Mobilität und Klima. Ministerium für Verkehrs Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/221111_Eckpunktepapier_Landeskonzept_Mobilit%C3%A4t_und_Klima_barrierefrei_01.pdf.
- Kretzler, M. (2008): Erfahrungen mit der City-Maut in Europa: Ökonomische Analyse und Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Städte am Beispiel Hamburg,
- Kugoth, J. (20.02.2023): Was das 9-Euro-Ticket für das Nachfolgekonzept lehrt. Tagesspiegel Background. In: *Tagesspiegel*.
- Kunze, B.; Heramb, C.; Martin, T. (1980): Impacts of municipal parking-fee increases in downtown chicago. In: *Transportation Research Record*, 786, S. 21–30.
- Kuss, P.; Nicholas, K. A. (2022): A dozen effective interventions to reduce car use in European cities: Lessons learned from a meta-analysis and Transition Management. In: *Case Studies on Transport Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.02.001>.
- Laing, K. (2020): Green and healthy streets. How C40 cities are implementing zero emission areas. Online verfügbar unter <https://sutp.org/publications/how-c40-cities-are-implementing-zero-emission-areas/>.
- Landeshauptstadt Stuttgart (2023): Parkraummanagement. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart.de/leben/mobilitaet/auto/parkraummanagement/>, zuletzt geprüft am 21.03.2023.

- Lashari, Z. A.; Ko, J.; Jang, J. (2021): Consumers' intention to purchase electric vehicles: influences of user attitude and perception. In: *Sustainability*, 13 (12), S. 6778. <https://doi.org/10.3390/su13126778>.
- Leape, J. (2006): The London congestion charge. In: *Journal of Economic Perspectives*, 2006 (Volume 20, Number 4), S. 157–176.
- Lehner, S.; Peer, S. (2019): The price elasticity of parking: A meta-analysis. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, S. 177–191. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.01.014>.
- Link, G.; Krüger, C.; Rösler, C.; Bunzel, A.; Nagel, A.; Sommer, B. (2018): Klimaschutz in Kommunen. Praxisleitfaden. 3. aktual. u. erw. Aufl. Deutschland. Online verfügbar unter <https://repository.difu.de/jspui/handle/difu/248422>.
- Litman, T. (2004): Mobility Management. SUTP Sourcebook 2b.
- Litman, T. (2010): Transportation Elasticities. How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior. Victoria Transport Policy Institute.
- Liu, H.-Y.; Skjetne, E.; Kobernus, M. (2013): Mobile phone tracking: in support of modelling traffic-related air pollution contribution to individual exposure and its implications for public health impact assessment. In: *Environmental health: a global access science source*, 12, S. 93. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-93>.
- Liu, Q.; Xie, J.; Ding, F. (2021): A data-driven feature based learning application to detect freeway segment traffic status using mobile phone data. In: *Sustainability*, 13 (13), S. 7131. <https://doi.org/10.3390/su13137131>.
- Lübke, C. (2021): Wahrnehmung des Klimawandels als gesellschaftliches Problem. Datenreport 2021. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/datenreport-2021/umwelt-energie-und-mobilitaet/330375/wahrnehmung-des-klimawandels-als-gesellschaftliches-problem/>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Maaß, C.; Sibylle Barth; Tobias Bernecker; Frank Dünnebeil; Gregor Waluga; Raphael Weyland (2016): Grundlagenuntersuchung: Instrumente zur Drittnutzerfinanzierung für den ÖPNV in Baden-Württemberg. Endbericht für das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. Hamburg.
- Matthes, F. C.; Gores, S.; Graichen, V.; Harthan, R. O. (2008): Politikszenerarien für den Klimaschutz IV. Szenarien bis 2030.
- Mau, K. (2019): Citymaut: Weniger Autos, bessere Luft. In: *Die Zeit*.
- Maur, A. auf der; Trachsel, T. (2021): Zielpfade Verkehr. Analyse von politischen Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele im Verkehr. Basel.
- Mayer, C.; Elena Marks; David Boss, U. B.; Dütschke; Michael Krail; Patrick Plötz; Tim Wicke; Alexander Holle; Alexander Böddeker; Georg Grothues; Manfred Schmid; Alexandra Graf; Karsten Hager (2021): Elektromobilitätsgesetz (E-moG). Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge. Berichterstattung 2021. Bundesministerium für Digitales und Verkehr.
- McMullen, S.; Eckstein, N.: Determinants of VMT in Urban Areas: A Panel Study of 87 U.S. Urban Areas 1982-2009. In: *Journal of the Transportation Research Forum*, 2013 (52 (3)), S. 5–24.
- Mei, Z.; Feng, C.; Kong, L.; Zhang, L.; Chen, J. (2020): Assessment of different parking pricing strategies: a simulation-based analysis. In: *Sustainability*, 12 (5), S. 2056. <https://doi.org/10.3390/su12052056>.
- Meland, S.; Tretvik, T.; Welde, M. (2010): The effects of removing the Trondheim toll cordon. In: *Transport Policy*, 17 (6), S. 475–485.

- Metz, D. (2018): Tackling urban traffic congestion: The experience of London, Stockholm and Singapore. In: Case Studies on Transport Policy, 6 (4), S. 494–498. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.06.002>.
- M-Five (Hrsg.) (2023): Abschätzung der Klimawirkung von Parkraum-Management in Baden-Württemberg, Dokumentation der Ergebnisse der Kurzstudie „Klimafreundliches Parkraum-Management“, Arbeitspapier, online verfügbar unter https://www.klimaschutz-bewegt.de/wp-content/uploads/Studie_Klimawirkung_PRM_Dokumentation-1.pdf.
- Klimafreundliches Parkraum-Management. Vorstellung der Ergebnisse. Beratung und Berechnungen zu Klimaschutzwirkungen für das Verkehrsministerium BaWü. Karlsruhe: M-Five GmbH; PTV Transport Consult GmbH.
- Michelin Nordic (2013): Intervjuundersøkelse om dekk og bilbruk. Datautskifter fra PFM Research. Oslo.
- Millard-Ball, A.; Weinberger, R. R.; Hampshire, R. C. (2014): Is the curb 80% full or 20% empty? Assessing the impacts of San Francisco's parking pricing experiment. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 63, S. 76–92. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.02.016>.
- Mingardo, G.; Vermeulen, S.; Bornioli, A. (2022): Parking pricing strategies and behaviour: Evidence from the Netherlands. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 157, S. 185–197. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.01.005>.
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2022): Klimabilanz Verkehr 2021. Kleine Fortschritte und große Aufgaben. 29.6.2022.
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2022): Regelförderung Quartiersgaragen über LGVFG (Kommunen). Online verfügbar unter <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/elektromobilitaet/foerderung-elektromobilitaet/lgvfg-foerderung-quartiersgaragen#:~:text=Bis%20zu%2050%25%20zzgl.,durch%20Reduzierung%20der%20Treibhausgase%20vorliegt.> zuletzt geprüft am 25.07.2023.
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Ruhender Verkehr (2023). Hinweispapier für die Straßenverkehrsbehörden, Bußgeldbehörden und Kommunen in Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Brosch%C3%BCren_Publikationen/210415_VM_Ruhender_Verkehr_DinA4_ES_web.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2023.
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2021): Land fördert mit 4 Millionen Euro E-Quartiershubs. Online verfügbar unter <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-foerdert-mit-4-millionen-euro-e-quartiershubs/>.
- Ministerium für Verkehr in Baden-Württemberg (2021): Gutachten zum Mobilitätspass. Webinar, Februar 2021. Ministerium für Verkehr in Baden-Württemberg.
- Mo, B.; Kong, H.; Wang, H.; Wang, X.; Li, R. (2021): Impact of pricing policy change on on-street parking demand and user satisfaction: A case study in Nanning, China. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 148, S. 445–469. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.04.013>.
- MobiliseYourCity (2020): Monitoring & Reporting Approach for GHG Emissions. Brüssel. Online verfügbar unter <https://www.mobiliseyourcity.net/mobiliseyourcity-emissions-calculator>.
- Modijefsky, M. (2021): Oslo – Promoting active transport modes. Online verfügbar unter <https://www.eltis.org/resources/case-studies/oslo-promoting-active-transport-modes>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.

- Modijefsky, M. (2022): Brussels park and ride car parks to become free of charge. Online verfügbar unter [Web] <https://www.eltis.org/in-brief/news/brussels-park-and-ride-car-parks-become-free-charge>, zuletzt geprüft am 26.07.2023.
- Müller, P., Schleicher-Jester, F., und TOPP, H. (1992): Konzepte flächenhafter Verkehrsberuhigung. In: Bundesministerien für Verkehr, für Umwelt und Reaktorsicherheit, für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.): Flächenhafte Verkehrsberuhigung. Folgerungen für die Praxis.
- Münzel, C.; Plötz, P.; Sprei, F.; Gnann, T. (2019): How large is the effect of financial incentives on electric vehicle sales? – A global review and European analysis. In: *Energy Economics*, 84, S. 104493. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104493>.
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2019): Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor. Arbeitsgruppe 1 - Klimaschutz im Verkehr. Zwischenbericht 2019.
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2022): Wege für mehr Klimaschutz im Verkehr. AG1 - Bericht.
- Nijland, H.; van Meerkerk, J. (2017): Mobility and environmental impacts of car sharing in the Netherlands. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 23, S. 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.02.001>.
- Noé, W. (2007): Erfahrungen mit der Preisgestaltung im ÖV. Nutzungsabhängige Finanzierung von Mobilität. Zukunftswerkstatt Darmstädter Dialog: Vortrag vom 14. Juni 2007, Darmstadt.
- Odeck, J.; Bråthen, S. (2008): Travel demand elasticities and users attitudes: A case study of Norwegian toll projects. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42 (1), S. 77–94. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.06.013>.
- Odeck, J.; Johansen, K. (2016): Elasticities of fuel and traffic demand and the direct rebound effects: An econometric estimation in the case of Norway. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 83, S. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.10.003>.
- Öhmann, M. (2022): Konzept des Mobilitätspasses. Vortrag am 19.02.2022, virtuell. Ministerium für Verkehr BW, Leiter Referat 31 – Ausbastrategie Öffentliche Mobilität, Haushalt, Organisation.
- Olszewski, P.; Xie, L. (2002): Traffic demand elasticity with respect to road pricing – some evidence from Singapore.
- Olszewski, P. S. (2007): Singapore motorisation restraint and its implications on travel behaviour and urban sustainability. In: *Transportation*, 2007 (34 (3) 319).
- Ostermeijer, F.; Koster, H. R.; van Ommeren, J. (2019): Residential parking costs and car ownership: Implications for parking policy and automated vehicles. In: *Regional science and urban economics*, 77, S. 276–288. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2019.05.005>.
- Paulley, N.; Balcombe, R.; Mackett, R.; Titheridge, H.; Preston, J.; Wardman, M.; Shires, J.; White, P. (2006): The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. In: *Transport Policy*, 13 (4), S. 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.12.004>.
- Peng, G. C. A.; Nunes, M. B.; Zheng, L. (2017): Impacts of low citizen awareness and usage in smart city services: the case of London's smart parking system. In: *Information Systems and e-Business Management*, 15 (4), S. 845–876. <https://doi.org/10.1007/s10257-016-0333-8>.
- Peschl, T. (2006): Preiselastizitäten und Zeitkostensätze in Bezug auf Road Pricing. Diplomarbeit.
- Pettersson, F.; Stjernborg, V.; Curtis, C. (2021): Critical challenges in implementing sustainable transport policy in Stockholm and Gothenburg. In: *Cities*, 113, S. 103153. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103153>.

- Pfaffenbichler, P.; Emberger, G. (2011): Climatedomobil - Mobilitätsmanagement und Klimaschutz in Regionen. Modul 2: Instrumente der Mobilitätsbewertung. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/39223366-Mobilitaetsmanagement-und-klimaschutz-in-regionen-modul-2-instrumente-der-mobilitaetsbewertung.html>.
- Pierce, G.; Shoup, D. (2013): Getting the Prices Right. In: Journal of the American Planning Association, 79 (1), S. 67–81. <https://doi.org/10.1080/01944363.2013.787307>.
- Poff, H. (2020): Neue Dimensionen der Mobilität. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte.
- Pressl, R. (2019): Parking Management in Vitoria Gasteiz. Online verfügbar unter <https://www.eltis.org/resources/videos/parking-management-vitoria-gasteiz>.
- Pressl, R.; Rye, T. (2020): Gute Argumente und Prinzipien des Parkraummanagements. Park4SUMP - Parkraummanagement als Game Changer für urbane Mobilität. CIVITAS 2020. Online verfügbar unter https://park4sump.eu/sites/default/files/2020-10/PARK4SUMP_reasons_28092020_DE_web.pdf, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Pütz, T.; Schönfelder, S. (2018): Angebotsqualitäten und Erreichbarkeiten im öffentlichen Verkehr. BBSR.
- Rapp, M.; Egeler, C.; Felix, A.; Loewenguth, S.; Oehry, B. (2007): Mobility Pricing. Synthesebericht.
- Reutter, U.; Holz-Rau, C.; Albrecht, J.; Hülz, M. (Hrsg.) (2020): Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels. Hannover: ARL - Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft. <https://doi.org/224139>.
- Rezaei, S.; Khojandi, A.; Mohsena Haque, A.; Brakewood, C.; Jin, M.; Cherry, C. R. (2022): Park-and-ride facility location optimization: A case study for Nashville, Tennessee. In: Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 13, S. 100578. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100578>.
- Rodt, S.; Georgi Birgit; Huckenstein, B.; Mönch, L.; Herberer, R.; Jahn, H.; Koppe, K.; Lindmaier, J. (2010): CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland - Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale. Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamts.
- Rohs, M.; Flore, G. (2021): Parkraummanagement für eine nachhaltige urbane Mobilität in der Stadt für Morgen. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_broschuer_e_parkraummanagement_0.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2023.
- Rotaris, L.; Danielis, R.; Marcucci, E.; Massiani, J. (2010): The urban road pricing scheme to curb pollution in Milan, Italy: Description, impacts and preliminary cost–benefit analysis assessment. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44 (5), S. 359–375. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.03.008>.
- Roth, N. (2009): Wirkungen des Mobility Pricing, TU Darmstadt. Online verfügbar unter https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/1871/1/Roth_Wirkungen_des_Mobility_Pricing.pdf.
- Rudolph, C. (2016): How may incentives for electric cars affect purchase decisions? In: Transport Policy, 52, S. 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.07.014>.
- Ruggieri, R.; Ruggeri, M.; Vinci, G.; Poponi, S. (2021): Electric Mobility in a Smart City: European Overview. In: Energies, 14 (2), S. 315. <https://doi.org/10.3390/en14020315>.
- Rupprecht Consult, EIB JASPERS, UCL/VECTOS, Wuppertal Institute: Guidelines on decarbonisation planning of urban mobility. Draft, August 2022.
- RWI (Hrsg.) (2019): Verkehrswende: Busstreifen okay, höhere Parkkosten nicht. Online verfügbar unter https://www.rwi-essen.de/fileadmin/user_upload/RWI/Publikationen/Impact_Notes/rwi_impact_note_verkehrswende.pdf, zuletzt geprüft am 27.07.2023.

- RWI; Stiftung Mercator (Hrsg.) (2020). *Studie in „Nature“: Autobesitzer unterschätzen Gesamtkosten des eigenen Autos massiv*. Online verfügbar unter <https://www.rwi-essen.de/presse/wissenschaftskommunikation/pressemitteilungen/detail/studie-in-nature-autobesitzer-unterschaetzen-gesamtkosten-des-eigenen-autos-massiv>.
- Rye, T. (2010): Parking Management: A contribution towards liveable cities. Online verfügbar unter <https://sutp.org/publications/parking-management/>.
- Rye, T.; Tully, S.; Godin, G.; Schmalholz, N.; Hertel, M. (2022): Parking and SUMP. Using parking management to achieve SUMP objectives effectively and sustainably. CIVITAS 2020.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (2017): Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor. Online verfügbar unter https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2016_2020/2017_1_1_SG_Klimaschutz_im_Verkehrssektor.pdf%3F_blob=publicationFile&v=26.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (2020): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Umweltgutachten 2020. Online verfügbar unter www.umweltrat.de.
- Sammer, G.; Röschel, G.; Gruber, C. (2012): Entscheidungsgrundlagen für die Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung in Wien.
- Sammer, G.; Röschel, G.; Gruber, C. (2019): Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung in Wien. Nachher - Untersuchung der Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung auf den 10. Bezirk (Favoriten) und 18. Bezirk (Währing). ZIS+P Verkehrsplanung.
- Schade W., K. M. (2015): Analyse der Effekte niedriger Ölpreise auf aktuelle Verkehrsszenarien. Arbeitspapier von M-Five/ISI im Auftrag der Stiftung Mercator. Karlsruhe.
- Scherf, C.; Ruhrort, L.; Bischof, M.; Damrau, L.; Knie, A. (2019): Mobilitätsmonitor Nr. 8. In: Internationales Verkehrswesen, 2 (71), S. 72–75.
- Scherf, C.; Wolter, F. (2016): Electromobility. Overview, Examples, Approaches.
- Schlaich, J. (2023): Handbuch Modellierung zur modellgestützten Erstellung von Klimamobilitätsplänen, Ergebnisse aus dem Projekt „Wissenschaftliche Begleitung der Pilotphase Klimamobilitätspläne zur Plausibilisierung der Annahmen der Wirkmechanismen von Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr“, online verfügbar unter https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/231012_Klimamobilit%C3%A4tspl%C3%A4ne_HandbuchModellierung_V0.1_barrierefrei.pdf
- Schlenther, T.; Wagner, P.; Rybczak, G.; Nagel, K.; Bieker-Walz, L.; Ortgiese, M. (2022): Simulation-based investigation of transport scenarios for Hamburg. In: Procedia Computer Science, 201, S. 587–593. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.076>.
- Schmaus, M. (2019): Quantifizierung der Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs in langfristigen Energieszenarien auf kommunaler Ebene. Dissertation, Universitätsbibliothek der Universität Stuttgart (Hrsg.), Stuttgart.
- Schöller, O.; Canzler, W.; Knie, A. (Hrsg.) (2007): Handbuch Verkehrspolitik. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-90337-8>.
- Senatsverwaltung für Umwelt; Verkehr und Klimaschutz (2020): Leitfaden Parkraumbewirtschaftung.
- SFMTA (2014): SFpark: Pilot Project Evaluation. The SFMTA’s evaluation of the benefits of the SFpark pilot project. Online verfügbar unter https://www.sfmta.com/sites/default/files/reports-and-documents/2018/08/sfpark_pilot_project_evaluation.pdf, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Shewmake, S. (2012): Can Carpooling Clear the Road and Clean the Air? In: Journal of Planning Literature, 27 (4), S. 363–374. <https://doi.org/10.1177/0885412212451028>.

- Shewmake, S. (2022): The impact of High Occupancy Vehicle Lanes on vehicle miles travelled.
- Shin, J.-H.; Jun, H.-B. (2014): A study on smart parking guidance algorithm. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 44, S. 299–317. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.04.010>.
- Shoup, D. C. (2005): The high cost of free parking. <https://doi.org/10.4324/9781351179782>.
- Shoup, D. C. (2006): Cruising for parking. In: *Transport Policy*, 13 (6), S. 479–486. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.05.005>.
- Sieber, N. (2019): Mobilität in Deutschland 2017. Analyse für Baden-Württemberg. Präsentation beim VM Baden-Württemberg am 4.12.2019.
- Simićević, J.; Momčilović, V.; Milosavljević, N. (2018): Parking management as a means of decreasing air pollution in cities. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1456435>.
- Simićević, J.; Vukanović, S.; Milosavljević, N. (2013): The effect of parking charges and time limit to car usage and parking behaviour. In: *Transport Policy*, 30, S. 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.09.007>.
- Sinning, H.; Steil, C.; Kreft, H. (2011): Klimaschutz in Städten und Gemeinden optimieren. Kommunales Klimaschutzmanagement als Strategie - Ein Handlungsleitfaden.
- Small, K. A.; van Dender, K. (2007): Fuel efficiency and motor vehicle travel: The declining rebound effect. In: *The Energy Journal*, S. 25–51.
- Smoreda, Z.; Olteanu-Raimond, A.-M.; Couronné, T. (2013): Spatiotemporal Data from Mobile Phones for Personal Mobility Assessment. In: Zmud, J.; Lee-Gosselin, M.; Munizaga, M.; Carrasco, J. A. (Hrsg.): *Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making*. Emerald Group Publishing Limited, S. 745–768. <https://doi.org/10.1108/9781781902882-041>.
- Sousa Santos, G.; Sundvor, I.; Vogt, M.; Grythe, H.; Haug, T. W.; Høiskar, B. A.; Tarrason, L. (2020): Evaluation of traffic control measures in Oslo region and its effect on current air quality policies in Norway. In: *Transport Policy*, 99, S. 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.08.025>.
- Spolwind, I. (2011): Beitrag von Umweltzonen bei der Reduzierung der verkehrsinduzierten Feinstaubbelastung am Beispiel Wien. Online verfügbar unter <https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/9425/2/Spolwind%20Ingomar%20-%202011%20-%20Beitrag%20von%20Umweltzonen%20bei%20der%20Reduzierung%20der...pdf>.
- Stadt Freiburg (2023): Bewohnerparken. Online verfügbar unter <https://www.freiburg.de/pb/907354.html>, zuletzt geprüft am 30.07.2023.
- Stadt Karlsruhe, Stadtplanungsamt, Ordnungs- und Bürgeramt (Hrsg.) (2016): *Faires Parken in Karlsruhe. Ein Leitfaden für die Bürgervertretungen*.
- Stadt Wien (2023): Bilanz zu 1 Jahr Parkpickerl. Eine volle Erfolgsgeschichte für Wien. Online verfügbar unter https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20230222_OTS0090/simaemmerling-bilanz-zu-1-jahr-parkpickerl-eine-volle-erfolgsgeschichte-fuer-wien.
- Stadt Wien (2023): Öffentlicher Verkehr. Statistiken. Online verfügbar unter <https://www.wien.gv.at/statistik/verkehr-wohnen/oeffentlich/#daten>, zuletzt geprüft am 18.03.2023.
- Stadt Wien (2023): Parken in Wien. Online verfügbar unter <https://www.wien.gv.at/verkehr/parken/>, zuletzt geprüft am 18.03.2023.
- Stadt Wien (Hrsg.) (2023). *Parkraumbewirtschaftung bringt Lebensqualität für alle und mehr freie Parkplätze für die Wienerinnen und Wiener*. Online verfügbar unter <https://www.wien.gv.at/presse/hintergrund/parkpickerl>.

- Stadtverwaltung Herrenberg (2022): Gebührenerhöhung beim Bewohnerparken. Online verfügbar unter <https://www.herrenberg.de/de/Rathaus/Aktuelles-Pressse/Stadtnachrichten/Nachricht?view=publish&item=article&id=4057>.
- Steenbruggen, J.; Borzacchiello, M. T.; Nijkamp, P.; Scholten, H. (2013): Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment: a review of applications and opportunities. In: *GeoJournal*, 78 (2), S. 223–243. <https://doi.org/10.1007/s10708-011-9413-y>.
- Steinert, K. (30.01.2023): Noch ist das Parken in Petershausen kostenlos – aber wie lange noch? In: *Südkurier*. Online verfügbar unter <https://www.suedkurier.de/region/kreis-konstanz/konstanz/noch-ist-das-parken-in-petershausen-kostenlos-aber-wie-lange-noch;art372448,11446573>.
- Stopher, P. R.; Daigler, V.; Griffith, S. (2018): Smartphone app versus GPS logger: A comparative study. In: *Transportation Research Procedia*, (32), S. 135–145.
- Sutter, D.; Sieber, Niklas, Wörner, Maleika; Esche, C. (2022): Overview of Urban Mobility Climate Mitigation Strategies and Climate objectives in Urban Mobility Plans (SUMPs). Final Report.
- Swianiewicz, P.; Brzóska, A. (2020): Demand Elasticity for Local Public Transport in Polish Cities: Do Local Policies Matter? In: *Transylvanian Review of Administrative Sciences*, (61 E), S. 125–142. <https://doi.org/10.24193/tras.61E.7>.
- Tal, G.; Nicholas, M. A. (2014): Exploring the impact of High Occupancy Vehicle (HOV) lane access on plug-in vehicle sales and usage in California. Davis. Online verfügbar unter <https://escholarship.org/uc/item/7hw5899j>.
- Tarriño-Ortiz, J.; Gómez, J.; Soria-Lara, J. A.; Vassallo, J. M. (2022): Analyzing the impact of Low Emission Zones on modal shift. In: *Sustainable Cities and Society*, 77, S. 103562. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103562>.
- Tegnér, G.; I. Jarlebring (2004): Coupled transit demand and mode-of-payment models in Swedish Cities. Estimates and forecasts. Vortrag, Montréal, Canada, Oktober, 2004.
- Tettamanti, T.; Varga, I. (2014): Mobile phone location area based traffic flow estimation in urban road traffic. In: *Advances in Civil and Environmental Engineering*, (1), S. 1–15.
- Thaller, A.; Posch, A.; Dugan, A.; Steininger, K. (2021): How to design policy packages for sustainable transport: Balancing disruptiveness and implementability. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 91, S. 102714. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102714>.
- Thielmann, A.; Wietschel, M.; Funke, S.; Grimm, A.; Hettesheimer, T.; Langkau, S.; Loibl, A.; Moll, C.; Neef, C.; Plötz, P.; Sievers, L.; Tercero, L.; Edler, J. (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft? Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Tight, M.; Raj, F.; Timms, P. (2016): Car-free urban areas: a radical solution to the last mile problem or a step too far? In: *Built Environment*, 42 (4), S. 603–616. <https://doi.org/10.2148/benv.42.4.603>.
- TRACE (1999) Final Report for Publication. Hague Consulting Group. EU RTD Programme of the 4th Framework Programme.
- Transport for London (2005): Impacts Monitoring Programme: Third Annual Report. Third Annual Report. London.
- Transport for London (2008): Central London Congestion Charging Impacts Monitoring, Sixth Annual Report.
- Trümper, S. C. (2020): Treibhausgasreduktion durch Elektromobilität: Potenzialuntersuchung mit Hilfe der Planungsanalyse am Beispiel des Hamburger Wirtschaftsverkehrs. Dissertation, TU Hamburg.

- Turo (2019): Top 3 Park-Apps in Deutschland. Online verfügbar unter <https://turo.com/blog/de/neues/top-park-apps-deutschland>, zuletzt geprüft am 24.03.2023.
- Umweltbundesamt (2020): Nachhaltige Mobilität. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/nachhaltige-mobilitaet>, zuletzt geprüft am 25.07.2023.
- Umweltbundesamt (2022): Car-Sharing. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/car-sharing#angebotsformen-des-car-sharing>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Umweltbundesamt (2022): CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe, Climate Change 28/2022
- United Nations (2018): World Urbanization Prospects 2018. Online verfügbar unter <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Uttke, A.; Reicher, C. (2006): Lebensmitteldiscounter und Supermärkte. Anforderungen an ihre Gestaltung und ihr räumliches Umfeld. Stadt Dortmund. Online verfügbar unter https://www.hamm.de/rehk/PDF/Uttke-Druck_20060425.pdf, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- van der Waerden, P.; Borgers, A.; Timmermans, H. (2009): Consumer response to introduction of paid parking at a regional shopping center. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2118 (1), S. 16–23. <https://doi.org/10.3141/2118-03>.
- van Nek, Lea, Schelewsky, Marc, Follmer, Robert (2023): Mobilitätsreport Baden-Württemberg: Das 9-Euro-Ticket und unsere Alltagsmobilität. Ausgabe 04. Bonn: infas. Online verfügbar unter <https://www.infas.de/publikationen/mobicor-laenderbericht-baden-wuerttemberg-04-das-9-euro-ticket-und-unsere-alltagsmobilitaet/>.
- VCD (2012): ÖPNV zum Nulltarif – Möglichkeiten und Grenzen. VCD-Hintergrund.
- VCÖ (Hrsg.) (2016): Mit Parkplatzmanagement Verkehr nachhaltig steuern. Wien.
- VCÖ (2021): Parkraumbewirtschaftung für Mobilitätswende nutzen. Online verfügbar unter <https://vcoe.at/files/vcoe/uploads/News/VCOe-Factsheets/2021/2021-09%20Factsheet%20Parkraumbewirtschaftung%20f%C3%BCr%20Mobilit%C3%A4tswende%20nutzen/VC%C3%96-Factsheet%20Parkraumbewirtschaftung%20f%C3%BCr%20Mobilit%C3%A4tswende%20nutzen.pdf>.
- VDV (2022): 9-Euro-Ticket-Marktforschung: Jeder Fünfte hat den ÖPNV vorher normalerweise nicht genutzt. Pressemitteilung Berlin, den 11. Juli 2022. Online verfügbar unter www.vdv.de/220711-pm-9-euro-ticket-marktforschung-zu-nutzungseffekten.pdf, zuletzt geprüft am 22.12.22.
- Victoria Transport Policy Institute (2018): Transportation Elasticities. How prices and other factors affect travel behavior. <https://www.vtpi.org/tm/tm11.htm>.
- Vincenzo Manzoni, Diego Maniloff, Kristian Kloeckl, and Carlo Ratti (2010): Transportation mode identification and real-time CO₂ emission estimation using smartphones. How CO₂GO works.
- Vrtic, M.; O. Meyer-Rühle; S. Rommerskirchen; P. Cerwenka and W. Stobbe (2000): Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr.
- Vrtic, M.; Schuessler, N.; Erath, A.; Axhausen, K. W. (2010): The impacts of road pricing on route and mode choice behaviour. In: Journal of Choice Modelling, 3 (1) 109-126., S. 109–126.
- Vrtic, M.; Schüssler, N.; Erath, A.; Bürgle, M.; Axhausen, K. W.; Frejinger, E.; Stojanovic, J.; Bierlaire, M.; Rudel, R.; Scagnolari, S.; Maggi, R. (2007): Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens. ETH Zurich.

- Wallimann, H.; Arx, W.; Blättler von, K. (2022): Preissenkungen im öffentlichen Verkehr: Wirkungen, Erfolgsfaktoren und Risiken - eine wissenschaftliche Perspektive. In: Internationales Verkehrswesen, (3), S. 14–16.
- Walnum, H.; Aall, C.; Løkke, S. (2014): Can rebound effects explain why sustainable mobility has not been achieved? In: Sustainability, 6 (12), S. 9510–9537. <https://doi.org/10.3390/su6129510>.
- Wappelhorst, S.; Shen, C.; Bieker, G.; Morrison, K. (2022): Electric Vehicles for everyone? State, district, and city level of uptake patterns in Germany.
- Washbrook, K.; Haider, W.; Jaccard, M. (2006): Estimating commuter mode choice: A discrete choice analysis of the impact of road pricing and parking charges. In: Transportation, 33 (6), S. 621–639. <https://doi.org/10.1007/s11116-005-5711-x>.
- Wicki, M.; Fesenfeld, L.; Bernauer, T. (2019): In search of politically feasible policy-packages for sustainable passenger transport: insights from choice experiments in China, Germany, and the USA. In: Environmental Research Letters, 14 (8), S. 84048. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab30a2>.
- Widmer (2004): Einfluss von Änderungen des Parkierungs-Angebotes auf das Verkehrsverhalten. Forschungsauftrag VSS 1997/46 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute.
- Widmer, P.; Buhl, T.; Schoch, M. (2016): Einfluss des Parkierungsangebotes auf das Verkehrsverhalten und den Energieverbrauch. Online verfügbar unter <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/ivt/ivt-dam/vpl/reports/1201-1300/ab1231.pdf>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Widmer, P.; Vrtic, M. (2004): Einfluss von Änderungen des Parkierungsangebotes auf das Verkehrsverhalten. Online verfügbar unter <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/ivt/ivt-dam/vpl/reports/201-300/ab293.pdf>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Willi, E.; Marti, P.; Kim, E.; Leuenberger, C.; Hofstetter, S.; Arm, H.; Schweizer, T. (2002): Parkplatzbewirtschaftung bei 'Publikumsintensiven Einrichtungen' - Auswirkungsanalyse.
- Wirtz, M.; Vortisch, P.; Chlond, B. (2015): Flatrate bias in Public Transportation: Magnitude and Reasoning.
- Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2022): Berücksichtigungsfähige Aspekte bei der Festlegung von Bewohnerparkgebühren. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/897200/44bf41dad0eef0231ac2e626c6b2613a/WD-7-014-22-pdf-data.pdf>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2022): Lenkungswirkung von Parkgebühren. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/897438/fea6329b934798478b2dbfe489c890a8/WD-5-021-22-pdf-data.pdf>.
- Wittig, O.; Dietl, F. (2020): Mobilitätspass: Eckpunkte für eine landesweite Ermächtigung zur Einführung von kommunalen Instrumenten der Drittnutzerfinanzierung im ÖPNV.
- WWF (Hrsg.) (2016): Workplace Parking Levy, Nottingham, UK. International Case Studies for Scotland's Climate Plan. Online verfügbar unter <https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/2016-12/nottingham%20case%20study%20-%20Workplace%20parking%20levy.pdf>, zuletzt geprüft am 31.07.2023.
- Xu, Y. A.; Liu, H.; Rodgers, M. O.; Guin, A.; Hunter, M.; Sheikh, A.; Guensler, R. (2017): Understanding the emission impacts of high-occupancy vehicle (HOV) to high-occupancy toll (HOT) lane conversions: Experience from Atlanta, Georgia. In: Journal of the Air & Waste Management Association (1995), 67 (8), S. 910–922. <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1302518>.

Zhao, W. (2017): Do HOV lanes save energy? Evidence from a General Equilibrium Model of the City.

Zhao, W. (2020): The general equilibrium effects of high-occupancy vehicle lanes on congestion, sprawl, energy use, and carbon emissions. In: Journal of Regional Science, 60 (1), S. 174–200.
<https://doi.org/10.1111/jors.12434>.

Zimmer, W.; Hülsmann, F.; Havers, K. (2014): Stadt der Zukunft: Lebenswerte Innenstädte durch emissionsfreien Verkehr.

Zmud, J.; Lee-Gosselin, M.; Munizaga, M.; Carrasco, J. A. (Hrsg.) (2013): Transport survey methods: best practice for decision making. Emerald Group Publishing Limited.
<https://doi.org/10.1108/9781781902882>.

Zukunftsnetz Mobilität NRW (Hrsg.) (2022): Ansätze zur Festlegung der Gebühren für Bewohnerparkausweise. Städtetag NRW; Städte- und Gemeindebund NRW; AGFS NRW; Zukunftsnetz Mobilität NRW. Online verfügbar unter <https://www.zukunftsnetz-mobilitaet.nrw.de/media/2022/5/16/9bf175d0c41f830ee035cefb77e40810/znm-hinweispapier-bewohnerparken.pdf>.

Anhänge

Anhang 1: Elastizitäten von PKW	132
Anhang 2: Elastizitäten des öffentlichen Verkehrs	134
Anhang 3: Anteil e-Mobile in den Landkreisen von BW	135
Anhang 4: Modellmäßige Berechnungen der Wirkung von PRM	137
Anhang 5: Übersicht über modellmäßige Berechnungen und empirische Studien zum Parkraummanagement	138
Anhang 6: Übersicht über City Maut Systeme und deren Wirkung	142
Anhang 7: Übersicht Road Pricing	149

Anhang 1: Elastizitäten von PKW

Abhängige Variable	Unabhängige Variable										
	PKW-Anschaffungskosten	Kraftstoffpreise	Variable Nutzerkosten	PKW-Vollkosten	Reisezeit PKW	Parkraum Bepreisung	Straßennutzungsgebühr	Einkommen	Quelle (Jahr)	Land, Jahr Datenerhebung	Anmerkung
Motorisierung	-0,49	-0,25							Goodwin et al. (2004)	Diverse (u.a. UK, USA, D), Meta-Studie um 1974	
		-0,10							Johansson und Schipper (1997)	12 OECD Länder 1973 - 1992	
	-0,60 -0,31	-0,14 -0,08							Dargay (2002)	England 1982 - 1995	urban ländlich
					-0,16				Vrtic et al. (2007)	Schweiz, 2000	
				-0,7					Ostermeijer et al. (2019)	NL, 2000-2016 bzw. 2004-2014	
Pkw-Wege		-0,19				-0,16			TRACE (1999)	I, D, F, B, NL(1998-99)	Anzahl der Fahrten (langfristig); Fzg/Kopf > 450
		-0,19 -0,24			-0,29 -0,36				De Jong und Gunn (2001)	Europ. Literatur Modell Brüssel	Europa
			-0,18		-0,76				Vrtic et al. (2007)	Schweiz, 2000	
		-0,29				-0,07			TRACE (1999)	I, D, F, B, NL (1998-99)	
		-0,26 -0,31			-0,76 -0,49				De Jong und Gunn (2001)	Europ. Literatur Modell Brüssel	Europa
		-0,60 -0,10							Hautzinger et al. (2004)	Deutschland 1994-2001	untere / obere Grenze
Pkw-Fahrleistungen		-0,29							Goodwin et al. (2004)	Diverse (u.a. UK, USA, D. etc.), Meta-Studie um 1974	
		-0,1 -0,3		-0,4 -1,2					Litman (2010)	-	kurzfristig langfristig
			-0,15 -0,35		-0,4 -0,9				Axhausen & Fröhlich (2012)	Schweiz, Modellrechnung	Kurzfristig langfristig
							-0,45 -0,82		Odeck und Bräthen (2008)	Norwegen, Erhebungsjahr nicht spezifiziert	mittelfristig langfristig
							-0,22		Meland et al. 2010	Trondheim	Nach Aussetzen der Maut
							-0,47 -0,42		Evans (2008)	London	Zentrale Zone Westliche Zone

Abhängige Variable	Unabhängige Variable											
	PKW-Anschaffungskosten	Kraftstoffpreise	Variable Nutzerkosten	PKW-Vollkosten	Reisezeit PKW	Parkraum Bepreisung	Straßennutzungsgebühr	Einkommen	Quelle (Jahr)	Land, Jahr Datenerhebung	Anmerkung	
							-0,87 -1,24		Börjesson und Kristoffersson (2018)	Stockholm	2006 2014	
							-0,69 -0,52			Göteborg	2013 2015	
							-0,12 bis -0,20		Agarwal und Koo 2016	Singapur		Steigerung der Maut
							-0,20 -0,28		Bain (2019)	Internationale Daten Meta-Studie		Obere, untere Grenze
							-0,3 -0,73		Goodwin et al. (2004), UBA (2008)	Deutschland, diverse andere		Kurzfristig langfristig
							-0,263		McMullen et al. (2013)	US Städte, 1982-2009		Langfristig

Anhang 2: Elastizitäten des öffentlichen Verkehrs

		Unabhängige Variable							
Abhängige Variable	ÖV Angebot (Fzg-km)	ÖV-Fahrpreise	Einkommen	Kraftstoffpreise	Reisezeit PKW	Variable Kosten PKW	Quelle (Jahr)	Land, Jahr Datenerhebung	Anmerkung
Modal Split					0,5 0,6	0,15 0,2	Axhausen & Fröhlich (2012)	Schweiz, Modellrechnungen	Kurzfristig langfristig
		-084					Wallimann et al. (2022)	Schweiz (Genf), 2015-2020	Mit synthetischer Kontrollmethode
				0,13			Breisig (2022)	Deutschland	Verkehrsprognose 2015
		-0,46 -0,45 -0,56 -0,9					Kholodov et al. (2021)	Schweden (Stockholm), 2016-17	Alle ÖV Modi Metro Bus Zug
	0,68		0,02				Swianiewicz & Brzóska (2020)	Polen, 2014-2017	Eigene Berechnung
ÖV Fahrten		-0,20 -0,26	-0,19 -0,33	0,14 0,183			Cordera et al. (2015)	Spanien (Santander), 2001-2012	Kurzfristig langfristig
		-0,30 -0,60 -0,10 -0,35					Noé (2007)		Einzeltickets min Einzeltickets max Zeitkarten min Zeitkarten max
		-0,75 -0,91					Holmgren (2007)	Europa Metaregression	Kurzfristig langfristig
	0,25 0,35	-0,2 -0,3	0,3 0,7			-0,7 -1,0	Vrtic et al (2000)	Schweiz (Metastudie)	Stadtverkehr Min - Max
	0,30 0,45	-0,25 -0,40	0,35 0,70				Vrtic et al (2000)	Schweiz (Metastudie)	Fernverkehr Min - Max
	0,45	-1,3					Tegnér & Jarlebring (2004)	Schweden, 6 Städte.	Erhebung 5-30 Jahre
ÖV Fahrleistungen		-0,3 -0,65 -0,42 -1,01					Paulley et al. (2006)	UK, 1951-2002	Metro – kurzfristig Metro – langfristig Bus – kurzfristig Bus – langfristig

Anhang 3: Anteil e-Mobile in den Landkreisen von BW

Landkreis	Prozentualer Anteil BEV am Fahrzeugbestand	Prozentualer Anteil alternativer Antriebe am Fahrzeugbestand *
STUTTGART, STADT	3,4	12,7
BOEBLINGEN	3,2	11,7
ESSLINGEN	2,5	8,3
GOEPPINGEN	1,8	6,9
LUDWIGSBURG	2,0	7,6
REMS-MURR-KREIS	2,0	7,2
HEILBRONN, STADT	1,6	7,2
HEILBRONN	1,8	8,8
HOHENLOHEKREIS	1,7	7,9
SCHWAEBISCH-HALL	1,8	6,0
MAIN-TAUBER-KREIS	1,4	5,8
HEIDENHEIM	1,3	5,5
OSTALBKREIS	1,6	6,2
BADEN-BADEN, STADT	2,3	8,7
KARLSRUHE, STADT	2,3	8,8
KARLSRUHE	1,9	6,5
RASTATT	2,0	6,9
HEIDELBERG, STADT	1,9	8,1
MANNHEIM, STADT	1,7	8,1
NECKAR-ODENWALD-KREIS	1,6	5,7
RHEIN-NECKAR-KREIS	2,1	7,8
PFORZHEIM, STADT	1,8	7,0
CALW	2,4	6,9
ENZKREIS	2,1	6,5
FREUDENSTADT	1,6	6,3
FREIBURG I.BREISG. STADT	2,2	7,3
BREISGAU-HOCHSCHWARZWALD	2,2	6,1
EMMENDINGEN	2,2	6,0

ORTENAUKREIS	1,9	5,6
ROTTWEIL	1,7	6,1
SCHWARZWALD-BAAR-KREIS	1,7	6,8
TUTTlingen	1,8	7,1
KONSTANZ	2,2	7,0
LOERRACH	2,1	6,5
WALDSHUT	2,1	5,8
REUTLINGEN	1,7	6,5
TUEBINGEN	1,9	6,8
ZOLLERNALBKREIS	1,5	6,1
ULM, STADT	2,1	8,1
ALB-DONAU-KREIS	1,8	5,6
BIBERACH	2,0	5,4
BODENSEEKREIS	1,9	7,4
RAVENSBURG	2,0	5,8
SIGMARINGEN	1,5	6,1
Baden-Württemberg Gesamt	2,0	7,3
* Fahrzeuge mit den Antriebsarten Elektro (BEV), Brennstoffzelle (Wasserstoff), Hybrid (einschließlich Plug-in-Hybrid), Gas (Flüssig- und Erdgas) und Wasserstoff.		

Quelle: KBA Fz27, Stand 1.10.2022

Anhang 4: Modellmäßige Berechnungen der Wirkung von Parkraummanagement

Ort	Maßnahme	Auswirkung	Quelle
Baden-Württemberg	Szenario 3 für 2030: Gebührenerhöhung auf 4 € pro Stunde, 30 € pro Tag und 1000 € pro Jahr	Pkw Nutzung: Anteil am Modal Split - 44 % für 2-10 km lange Fahrten Pkw-Bestand: -7,8 % 521.000 Pkw THG-Emissionen: - 0,75 Mio. t CO ₂ e	M-Five 2023
	Szenario 3 für 2030: Reduktion der Parkplätze	Pkw Nutzung: Anteil am Modal Split -7 % für 2-10 km lange Fahrten Pkw-Bestand: -4,2 % THG-Emissionen: - 0,31 Mio. t CO ₂ e	
	Szenario 3 für 2030: Gebührenerhöhung und Reduktion der Stellplätze	Pkw Nutzung: Anteil am Modal Split -52 % für 2-10 km lange Fahrten Pkw-Bestand: -11,9 % THG-Emissionen: - 1,04 Mio. t CO ₂ e	
	Verdoppelte Gebühren	Personenfahrten MIV: 376,3 Millionen Fahrten weniger ggü. Kernszenario (+50 % Gebühren) Verkehrsleistung: 3,63 Milliarden Personenkilometern weniger ggü. Kernszenario	ITP et al. 2017
Lille	Gebührenerhöhung: +10 % / +50 %	CO ₂ -Emissionen: -0,1 % / -0,58 %	Hammadou und Papaix 2015
Portland	Gebühren: 6 US-\$ pro Tag	Fahrzeugkilometer: -62000 km/100 Pendler	Hess 2001
Winterthur	Stellplatzreduktion Suchzeit: +50 %	MIV-Wege: -11.000 Fahrten (-0,28 % Kanton Zürich; -3,1 % in Winterthur) Verkehrsleistung MIV: -1,7 % CO ₂ Emissionen: -2,3 %	Widmer 2004
	Parkgebühren: +150 %	MIV-Wege: -17.000 Fahrten (-0,44 % Kanton Zürich; -6,3 % in Winterthur) Verkehrsleistung MIV: -3,5 % CO ₂ Emissionen: -4,8 %	
	Kombination Suchzeit: +50 % Parkgebühren: +150 %	MIV-Wege: -26.000 Fahrten (-0,66 % Kanton Zürich; -9 % in Winterthur) Verkehrsleistung MIV: -4,8 % CO ₂ Emissionen: -6,8 % innerhalb Winterthur ohne Autobahn (-1,1 % Kanton Zürich)	
Belgrad	Angleich der Preise für on-street und off-street Parken	Suchzeit: -32 % CO ₂ Emissionen: -14,1 % NO _x Emissionen: -14,2 %	Simičević et al. 2018; Simičević et al. 2013
	Gebührenerhöhung: +0,6 €	CO ₂ Emissionen (durch Parksuchverkehr): -41 %	
Leipzig	Cash Out System am Arbeitsplatz	Anteil der Pkw Pendler sinkt von 68 % auf 55 %	Evangelinos et al. 2010

Anhang 5: Übersicht über modellmäßige Berechnungen und empirische Studien zum PRM

Maßnahmenkategorie	Ausgestaltung der eingeführten Maßnahme	Parallel durchgeführte Maßnahmen	Wirkungslogik		Ort der Maßnahme	Welche Wirkung wurde erzielt?	Indikator	Methode	Weitere interessante Erkenntnisse/Ergebnisse/Bemerkungen	Quelle
			Wirkungsrichtung	Zielgruppe/Wege-zweck						
Angebotssteuerung betriebliches Stellplatzmanagement	Parkgebühren am Arbeitsplatz: Gebühr für Parkplätze mit >10 Mitarbeiterparkplätzen im Innenstadtbereich seit 2012.	- Ausbau ÖPNV (2 zusätzliche Tram-Linien zu Vororten) - Sanierung Fahrgasträume des Bahnhofs, Anpassung und Qualitätsverbesserung der Busfahrpläne - Unterstützung für Arbeitgeber (Planungsservice, Beratung bei Parkraummanagement, Zuschüsse für Fahrradinfrastruktur)	Reduktion des PKW-Pendlerverkehrs, Staureduzierung Sekundär: Gesteigerte Finanzmittel für Verbesserungen im ÖPNV sind Anreiz für Verschiebung im Modal Split zu ÖPNV	Zielgruppe: Pendler	Europa, UK, Nottingham	Verkehrsbezogene Wirkung: 8,6% der Pendler Wechsel von PKW zu nachhaltigem Verkehrsmittel unter anderem wegen der Maßnahme; Insgesamt Zunahme des ÖPNV-Modal Split zwischen 2010 und 2017	Modal Split, Prozentualer Wechsel der Pendler von PKW zu nachhaltigem Verkehrsmittel	Methode: Befragung von 2500 Pendlern 2016	Vor Einführung Bürgerbeteiligungsprozess Gewinne für Co-Funding ÖPNV-Ausbau (z.B. Ausbau von Tram-Linien)	Kuss und Nicholas (2022); Dale et.al. (2019)
Angebotssteuerung Stellplatzreduktion	Rückbau und Abschaffung von öffentlichen Parkplätzen in und um die Innenstadt Einführung: 2015 und 2019	Einführung von autofreien Straßen; Umbau der Verkehrsführung Neubau von Fahrradwegen; Fußgängerfreundliche Infrastruktur	Primär: Reduzierung des Verkehrsaufkommens in Stadtzentrum um 20% bis 2019 und 33% bis 2030 zu 2015 Sekundär: Erhöhung des Modal Split Anteils von ÖPNV, Fahrrad und Fußgänger. => Beitrag zur CO2-Reduktion im Verkehrssektor	Zielgruppe: Private Autofahrer	Europa, Norwegen, Oslo	Verkehrsbezogene Wirkung: (1) Reduzierung des Verkehrsaufkommens um 11% in ersten zwei Jahren, 19% im dritten Jahr; keine Auswirkung auf Wegziele aber auf Transportmodus (höhere Passagierdichte in PKW von 1,41 Personen/Fahrzeug auf 1,85 Personen/Fahrzeug.) (2) 14% Zuwachs bei Fußgängeranzahl im Jahr 2018, 43% in 2019	Reduktion Verkehrsaufkommen in % (verschiedene Jahre); Auswirkung auf Wegziele; Passagierdichte; Zuwachs Fußgängeranzahl in %	(1) ex-post Erhebung von Verkehrsdaten zur Maßnahmenevaluierung (2) Umfragen 2018 und 2019	Widerstand insbesondere von Unternehmen/Einzelhändlern; Umfragen zeigen, dass 50% der Bevölkerung die Entwicklung positiv finden	Kuss und Nicholas (2022); Modjefsky (2021)
Angebotssteuerung Zentralisierung	Gebührenfreies Parken für Pendler auf Park & Ride Parkplätzen	Preissenkung um 75% für Fahrradgaragenplätze	Primär: Anreiz für Pendler für die Fahrt ins Stadtzentrum ÖPNV zu nutzen; Verbesserte Erreichbarkeit und höhere Attraktivität als Touristenziel, Steigerung der Lebensqualität der Stadtbewohner	Pendler, Touristen	Europa, Belgien, Brüssel	keine Angabe			keine Angabe	Eltis (2022)
Angebotssteuerung Stellplatzreduktion Parkraumbewirtschaftung höhere Bepreisung	Park- und Zufahrtbeschränkungen im Innenstadtbereich für private Pkw, Parkhäuser/-plätze nur für Anwohner, In verkehrsberuhigten "Superblocks" überwiegend Parkverbot, außerhalb der Innenstadt und der Superblocks nur kostenpflichtige Parkmöglichkeiten	Verdreifachung der Parkgebühren; Verbesserung des ÖPNV-Angebots			Europa, Spanien, Vitoria Gasteiz	(1) Mehr Fußgängerverkehr in der Innenstadt (2) 36% geringere Motorisierung (3) 24% weniger Autofahrten (4) Fahrrad Modal Split Anteil von 3% auf 10% gesteigert. (5) Insgesamt CO2 Reduktion von 9,5% Ausbau geschlossener Fahrradabstellplätze in 2018 (2.800 Nutzer, 3-6€/Monat)	(1) Fußgängerverkehr; (2) Motorisierung; (3) Reduktion Autofahrten in % (4) Modal Split (Fahrrad Anteil) (5) CO2 Reduktion in %	(1) (keine Angabe über Datenerhebung/-zeitraum) (2) (2014 gegenüber 2006, keine Angabe zur Datenerhebung); (3) (2014 gegenüber 2006, keine Angabe zur Datenerhebung);	Anfänglich negative Reaktionen insbesondere von Unternehmen und Einzelhändlern Freigewordene Flächen sollen für Fußwege und Fahrradwege genutzt werden, Flächen von ca. 2.000 Parkplätzen wurden für Tramschienen genutzt Ausbau von Fahrradstellplätzen auf 12.000 on-street Fahrrad-racks	Eltis (2020); Civitas (2021)

Literaturstudie: Ex-post-Untersuchung der Klimawirkungen verkehrlicher Maßnahmen

Maßnahmenkategorie	Ausgestaltung der eingeführten Maßnahme	Parallel durchgeführte Maßnahmen	Wirkungslogik		Ort der Maßnahme	Welche Wirkung wurde erzielt?	Indikator	Methode	Weitere interessante Erkenntnisse/Ergebnisse/Bemerkungen	Quelle
Parkraumbewirtschaftung Gebührenerhöhung Angebotssteuerung Stellplatzreduktion	Hohe Parkgebühren für on-street Parkplätze (4,08€/Std) subventionieren geringere Parkgebühren für off-street Parkplätze (Parkhäuser 2€/Std, P+R teilweise gebührenfrei in Kombination mit ÖPNV-Ticket)	Einführung eines Parkzonen-systems Reduktion der on-street Parkplätze um 3000 in 2020	keine Angabe	keine Angabe	Europa, Niederlande, Rotterdam	keine Angabe			Subventionierung von off-street Parkplätzen 2018 wurden 1200 Parkplätze zu Fahrradstellplätzen, Fußwegen oder Grünflächen umgewidmet	Eltis (2020)
Parkraumbewirtschaftung Gebührenpflichtige Zone Angebotssteuerung Stellplatzregelungen	Private-Public Parkraummanagement mit gebührenpflichtigen Parkzonen	P&R-Netzwerk Anpassungen der Parkraumanforderungen an Neubauten	Reduzierung des Pkw-Verkehr in der Innenstadt	Anwohner, Pendler, Touristen	Europa, Deutschland, München	(1) Verschiebungen im Modal Split: MIV 42% (2000), 36% (2008) ÖPNV 32% (2000), 21% (2008) Fahrrad 8% (2000), 14% (2008) Fuß 18% (2000), 29% (2008) (keine Angabe zur Datenerhebung) (2) Motorisierungsrate sank von 2000 bis 2008 um 1.700 Pkw	(1) Modal Split (Verschiebung) (2) Motorisierungsrate	(keine Angabe zur Datenerhebung)		Kodransky und Herman (2011)
Parkraumbewirtschaftung Gebührenerhöhung	Erhöhung der Parkgebühren (nur für Studie)				Europa, Irland, Dublin, Stephen's Green (bekannte Straße für on-Street Parken im Stadtzentrum)	50% Steigerung der on-street Parkgebühren reduzierten die Nachfrage um 15% und die Parkdauer um 16,5%.	Reduktion der Nachfrage; Veränderung Parkdauer	zweiwöchige Straßenumfrage (August 2001) im Rahmen einer Case Study (ceteris paribus Untersuchung zu Einfluss von Parkpreisen auf Auslastung). Es wurden 1007 Parkende interviewt.		Kelly und Clinch (2006); Batty et al. (2015)
Informations- und Leitsysteme	Ausstattung der on-street Parkplätze mit Sensoren, um Belegung festzustellen und in der App "Park-Right" anzuzeigen	Die App enthält neben der Anzeige der Verfügbarkeit einen Bezahlservice, zeigt die Öffnungszeiten an und bietet die Möglichkeit das Parkticket zu verlängern.	1. Zeit zur Parkplatzsuche reduzieren (durch gezieltes Anfahren der Plätze) 2. Möglichkeit Falschparker schnell zu entdecken	Regelmäßige Besucher	Europa, UK, London West End Area	Durchschnittliche Zeit für Parkplatzsuche von 17.65 min auf 10.17 min gesenkt. Einsparpotenzial von 642978 Tonnen CO2-Equivalent pro Jahr für die Stadt.	Zeit Parkplatzsuche; Einsparpotenzial CO2-Äquivalent	Wirkungsmessung b: Daten basieren auf einer Umfrage der App-Nutzer.		Peng et al. (2016)
Parkraumbewirtschaftung höhere Bepreisung	höhere Bepreisung um 10% und 50% und gleiche Bepreisung innerhalb bestimmter Zonen	Verschiedene Maßnahmenpakete mit Innenstadtmaut und Verbesserung des ÖPNVs	1. Innerstädtische Autoverkehr reduzieren 2. Geringere Parksuchzeit durch gleiche Bepreisung innerhalb einer Zone	keine Angabe	Europa, Frankreich, Lille	Veränderung des Modal Split in % nach +10%/+50% höherer Bepreisung: Laufen (+0,42/+1,7), ÖPNV (+0,5/+4,5), Autofahrer (-0,19/-0,77), Autopassagier (-0,37/-3,03) Fahrtkosten (+0,52/+2,3) CO ₂ Emissionen Veränderung in % nach Erhöhung der Parkkosten um 10%/50%: (-0,1/-0,58)	Modal Split (Verschiebung); CO2 Emissionen	Wirkungsmessung a: Durch Simulation, Daten aus Household Travel Survey 2006	Erfolgreichstes Maßnahmenpaket: +50% Parkgebühren, 1,2€ Mautgebühr und -10% Reisezeit in ÖPNV -> Laufen (+2,62), ÖPNV (+19,52), Autofahrer (-1,91), Autopassagier (-8,66) // Fahrtkosten (+7,39) / CO ₂ (-2,37) Mit zusätzlichen Einnahmen Verbesserung des Transportsystems	Hammadou und Papaix (2015)
Parkraumbewirtschaftung Informations- und Leitsysteme	dynamic pricing / Nachfrageorientierte Bepreisung: stündliche Anpassung der Parkgebühren je nach Auslastung um 0,25\$ und Anpassung des Preises alle 3 Monate je nach Nachfrage	Zeitlimits wurden gelockert, Parkende haben mehr Information bereit gestellt bekommen über Preise und Verfügbarkeit	1. Auslastung reduzieren (Ziel: Belegungsrate von 60 - 80%) 2. Parkplatzsuche reduzieren	keine Angabe	Amerika, USA, San Francisco	Komplette Auslastung der Parkgebiete: -16%, Suchzeit nach Parkplätzen: -43 %, Fahrzeugkilometer: -30%, Nutzung der Parkgaragen: +11% THG sanken um 30% (2011: 7t/2013: 4,9t)	Auslastung; Suchzeit; Fahrzeugkilometer; Nutzung Garagen; THG-Emissionen	Methode b: Auswertung der Sensordaten		SFMTA (2014)

Literaturstudie: Ex-post-Untersuchung der Klimawirkungen verkehrlicher Maßnahmen

Maßnahmenkategorie	Ausgestaltung der eingeführten Maßnahme	Parallel durchgeführte Maßnahmen	Wirkungslogik		Ort der Maßnahme	Welche Wirkung wurde erzielt?	Indikator	Methode	Weitere interessante Erkenntnisse/Ergebnisse/Bemerkungen	Quelle
Angebotssteuerung Stellplatzreduktion Zentralisierung	Weniger on-street Parkplätze	Busspuren, Busservice in die Business Distrikte, Ausbau P+R, Einrichtung eines Fußgängernetzwerkes	keine Angabe	keine Angabe	Europa, Spanien, Donostia-San Sebastian	2.500 weniger Autos im Stadtzentrum, Modal Split (2006/2011/Differenz): Auto (29%/28%/-1%), ÖPNV (25%/19%/-6%), Laufen (43%/49%/+6%), Fahrrad (3%/4%/+1%)	Anzahl Autos; Modal Split	(keine Angabe zur Methodik)	Umnutzung für öffentliche Plätze für Passanten	Tight et al. (2016)
Parkraumbewirtschaftung Bepreisung Parkdauerbeschränkung	Pricing only: Amsterdam: 5€ zentral, 1,3€ außerhalb (2018); Utrecht: 4,71€ zentral - 2,58€/h außerhalb (2018) Zeit und Preis: Groningen: 30 min max. Parkdauer in der Innenstadt, 2-3h in Randbezirken, 2-2,9€/h (2018); Den Haag: 60 min max. in Innenstadt, 1h am Strand und Shopping Center, 1,75-2,15€/h (2018) Tagestickets: Delft: 29€ tagesticket (einzige Parkmöglichkeit in der Innenstadt), außerhalb stündliche Preise; Tilburg: 16,5 €/d, außerhalb 1-2€/h				Pricing: Utrecht, Amsterdam; Bepreisung und Zeitbegrenzung: Groningen und Den Haag Tagestickets: Delft, Tilburg	Pricing: Bepreisung wirkt sich nicht auf Parkdauer aus (2-4h Parkdauer); Zeitlimit und Preis: Parkdauer folgt der Zeitbeschränkung (30-60 min); außerhalb keine Unterschiede bei verschiedenen Preisen, insg. eher längere Parkdauern (1-2h & Hotspots mit >2h in Groningen; 2-4h & Hotspots mit 8h in Den Haag) Tagesticket: Delft Parkdauer >8h, außerhalb der Zone 30min - 2h; Tilburg: 2-4h deutlich länger als außerhalb der Zone geringe neg. Korrelation zwischen Preis und Dauer	Parkdauer in min	Analyse 32 Mio. mobiler Parktransaktionen 2018 (durch großen Parkplatzanbieter bereitgestellt)	Nachfrage ist unelastisch (Marsden 2006; Pierce & Shoup 2013)	Mingardo et al. (2022)
Parkraumbewirtschaftung Bepreisung Parkdauerbeschränkung	Einführung Parkgebühren in regionalem Einkaufszentrum nördlich von Eindhoven im September 2007 (0,50€/h in der ersten Stunde, 1€/h für jede weitere, max. 3€ am Tag, vergleichbare Preise zum Parken in der Innenstadt)	Erneuerung des Einkaufszentrums im Mai 2007	Auswirkung auf Einkaufsverhalten: Rückgang der Häufigkeit der Besuche, Aufenthaltsdauer und Ausgaben insb., wenn Einwohner Alternativen in der Nachbarschaft haben.	Einkauf	Europa, Niederlande, Eindhoven, Woensel Shopping-Center	Wechsel von Auto auf andere Verkehrsträger (Fahrrad, zu Fuß, andere) 18 % der Besucher Wocheneinkauf, 30% der Besucher nicht wöchentliche Einkäufe	Verkehrsmittelwahl, Dauer, Häufigkeit	Vorher-Nachher Untersuchung (Internetfragebogen) Nov 2007, Differenzierung von wöchentlichem und unregelmäßigen Einkäufen, retrospektive Umfrage bezieht sich auf bis zu 3 Monate vor Einführung	Kommunikation ist wichtig	Van Waerden et al. (2009) nach Widmer et al. (2016), S.29
Parkraumbewirtschaftung Parkdauerbeschränkung Angebotssteuerung Bewohnerparken	Dauerparkplätze wurden in Kurzzeitparkplätze mit Anwohnerprivilegierung umgewandelt.		Verbesserung der Zielverfügbarkeit			kleinräumig Wirkung auf Parkplatzwahl, Verfügbarkeit, Suchzeiten, Verkehrsmittelwahl und Zielwahl Auswirkung auf gesamtstädtisches MIV-Aufkommen gering (durch hohen Anteil unbewirtschafteter Fläche)	Verkehrsaufkommen und Modal Split	Vorher-Nachher Untersuchung	Sehr unterschiedlich je nach Stadt (Einflussfaktoren: ÖPNV Angebot, Anteil unbewirtschafteten Parkraums) Höhere Umschlagshäufigkeit (Rebound Effekt)	Huber-Erler (1998), Dörnermann (1998), Baier et al. (2000) und Heinrichs et al. (2008) nach Widmer et al. (2016), S.29
Angebotssteuerung betriebliches Stellplatzmanagement	Angestellte können Antrag auf Parkeraubnis stellen 2 Alternativen: naher teurer Platz oder günstigerer Platz weiter weg			betriebliches Parken	Amerika, USA, Wisconsin, University of Wisconsin-Madison	Wert der Gezeit je nach Einkommen \$4/h - \$30/h Wahl eher unelastisch bzgl. Gezeiten elastischer bzgl. Parkgebühren	Wahl des Parkplatzes	Revealed Preference Befragung (Untersuchung der Parkplatzwahl, bei festgelegtem Ziel und Auto als Verkehrsträger); Multinomiales Logitmodell		Harmatuck (2007) nach Widmer et al. (2016), S.30
Parkraumbewirtschaftung Bepreisung Parkdauerbeschränkung	Modellberechnung zur willingness-to-pay basierend auf Umfragen in Einkaufszentren in Vororten von Prag		Höhere Preise sollen zum Umstieg auf nachhaltige Verkehrsmittel anregen	Einkaufen / mit dem Auto anreisende Kunden	Europa, Tschechien, Prag (4 Einkaufszentren in Vororten)	positive Korrelation der Zahlungsbereitschaft mit: HH-Einkommen, Motorengröße, Wert des Einkaufs, Zahl der Begleitpersonen Negative Korrelation: Alter, Lebensmitteleinkauf		Befragung		Newmark und Shifan (2007) nach Widmer et al. (2016), S.31

Literaturstudie: Ex-post-Untersuchung der Klimawirkungen verkehrlicher Maßnahmen

Maßnahmenkategorie	Ausgestaltung der eingeführten Maßnahme	Parallel durchgeführte Maßnahmen	Wirkungslogik		Ort der Maßnahme	Welche Wirkung wurde erzielt?	Indikator	Methode	Weitere interessante Erkenntnisse/Ergebnisse/Bemerkungen	Quelle
						Unelastische Veränderung der Nachfrage bei Preisänderung				
Parkraumbewirtschaftung Bepreisung Parkdauerbeschränkung	Anheben der Parkgebühr auf 4 CHF/h		Senken der Fahrleistung und Fahrten	Einkaufen / Freizeit	Europa, Schweiz, 15 Einkaufs- und Freizeitzentren	Bei Parkgebühr von CHF 4,-/h: 11-16% geringere Fahrleistung (PW-km) und 20-25% weniger PW-Fahrten pro Zentrum; Ab CHF 2,-/h würde Mehrheit das Verkehrsverhalten ändern; Unelastische Nachfrage im Bereich moderater Parkgebühren	Prozentale Änderung der Fahrleistung und Fahrten			Willi et al. (2002) nach Widmer et al. (2016), S.31
Parkraumbewirtschaftung Bepreisung	Studien in den USA über Reaktion auf Veränderung der Parkgebühren von Pendlerverkehr		Höhere Preise senken Parkierungsvorgänge	Pendler	Amerika, USA	Unelastische Preiselastizität	Anzahl Parkvorgänge, Elastizität			TCRP (2003) nach Widmer et al. (2016), S.31
Parkraumbewirtschaftung Bepreisung Angebotssteuerung Stellplatzreduktion	Änderung von Gebühr und Suchzeit		keine Änderung, Umstieg auf ÖV/Taxi/Langsamverkehr, Verzicht, anderes Ziel oder andere Zeit	Einkauf, Berufspendler	Asien, Israel, Haifa, Carmel Center	Berufspendler sind bereit Verkehrsmittel zu ändern oder die Abfahrtszeit, Verzicht oder Wahl eines anderen Ziels sind keine Option. Signifikante Einflussvariablen bei Berufspendlern: HH-Größe, Alter, ÖPNV-Angebotsqualität/ bei nicht Pendlern: Einkommen, Aufenthaltsdauer, Alter Personen die aktuell Gebühren bezahlen reagieren weniger stark, als diejenigen die kostenfreien Parkplatz nutzen		SP-Daten, Schätzung binärer MNL und NL-Modelle		Shiftan und Burd-Eden (2001) nach Widmer, P (2016) S.(32)
Parkraumbewirtschaftung Bepreisung	Preiserhöhung auf öffentlich zugänglichen Parkplätzen				Europa, Schweiz, je eine Kleinstadt und Großstadt	geringere Elastizität in Kleinstadt höhere mittlere Parkgebühr und Parksuchzeit in Großstädten, durch besseres ÖPNV-Angebot und Attraktivität alternativer Zielorte		RP und SP-Befragung / MNL-Modell	Ergebnisse gelten nur für Fallbeispiele und sind nicht allgemein gültig	Widmer und Vrtic (2004) nach Widmer et al. (2016) S.32
Parkraumbewirtschaftung Bepreisung	Erhöhung der Parkgebühren um 38-59%/h bzw. 38-123% für 8h. Zuvor 10 Jahre unveränderte Kosten öffentlicher Parkplätze, 50 % günstiger ggü. privaten Parkplätzen			Langzeitparker	Amerika, USA, Chicago	Zahl der Ganztagsparker ging um 72% zurück, Elastizität für Langzeitparker -1,2 (Bogenelastizität)			Kurzzeitparken stieg stattdessen an	Kunze et al. (1980) nach Feeney (1989)
Angebotssteuerung Stellplatzreduktion	deutliche Reduktion von Stellplätzen in Einkaufszentren			Einkauf (Kunden, die größere Einkäufe am Wochenende mit dem Auto tätigen)	Europa, Schweiz, 7 verschiedene Einkaufszentren	Die meisten Befragten gehen weiterhin mit dem Auto einkaufen; ¼ zu einem anderen Zeitpunkt oder Wochentag, 1/3 an einem anderen Ort		1000 Telefon-Interviews mit haushaltsführenden, repräsentativen Personen, die in einem von 7 ausgewählten Verkaufsstellen einkaufen und 15 Interviews bei 2 Einkaufszentren; - Keine Untersuchung von Kunden mit kleinerem Einkauf		Konso (2005) nach Widmer et al. (2016), S. 32 f.

Anhang 6: Übersicht über City Maut Systeme

1. Übersicht über City Maut Systeme

Stadt mit City Maut	Einwohner	Art	Fahrzeugklassen	Räumliche Regelung	Zeitliche Regelung	Gebührenhöhe
London	9.540.576 (1)	Area Licensing (2)	Seit 2017 Gebühr abhängig von Schadstoffklassen (2)	Stadtzentrum (2)	2003: Mo-Fr 7:00 - 18:30 2020: Tägl. 7:00 - 22:00 (2)	Tagesgebühr 2003: 5 € 2020: 15 € 90% Discount für Anwohner (2)
Durham	608.124 (3)	Congestion charge (Staugebühr) (4)	Alle (4)	Stadtzentrum (4)	Mo-Sa 10:00-16:00 (5)	2,28 € (5)
Oslo	699.827 (15)	Cordon Pricing (Einfahrts- und Ausfahrtsgebühr) (2)	Alle (2)	Stadtzentrum (2)	Mo-Fr 6:30-18:30 (2)	Diesel: 3,10 / 3,60 € (Spitze) Hybrid: 2,70 € / 3,30 € (Spitze) Elektro: 1,40 € / 3,10 € (Spitze) (7)
Bergen	286.930 (6)	AutoPASS (8) Maut an 29 Mautstationen (7)	Alle, außer Motorräder (7)	Gemeindegrenze (7)	Ganzjährig rund um die Uhr (7)	Mo-Fr (7) Tagesrand: 2,50 € Spitze: 5,30 €
Trondheim	210.496 (9)	AutoPASS (8) Maut an 26 Mautstationen (7)	Alle, außer Motorräder (7)	Gemeindegrenze (7)	Ganzjährig rund um die Uhr (7)	Mo-Fr (7) Tagesrand: 1,20 € Spitze: 3,10 €
Haugesund	37.444 (10)	AutoPASS (8) Maut an 8 Mautstationen (7)	Alle, außer Motorräder (7)	Gemeindegrenze (7)	Ganzjährig rund um die Uhr (7)	1,20 € (7)
Stavanger	144.699 (11)	AutoPASS (8)		Gemeindegrenze (7)		2,00 € (7)
Kristiansand	113.737 (12)	AutoPASS (8) (Maut an 5 Mautstationen) (7)	Alle, außer Motorräder (7)	Gemeindegrenze (7)	Ganzjährig rund um die Uhr (7)	Mo-Fr (7) Tagesrand: 1,30 € Spitze: 1,90 €
Bodø	42.351	AutoPASS (8) (Maut an 7 Mautstationen) (7)	Alle, außer Motorräder (7)	Gemeindegrenze (7)	Ganzjährig rund um die Uhr (7)	2,00 € (7)
Førde	13.092	AutoPASS (8) (Maut an 5 Mautstationen) (7)	Alle, außer Motorräder (7)	Gemeindegrenze (7)	Ganzjährig rund um die Uhr (7)	3,10 € (7)
Grenland	Skien 55.513 Porsgrunn 36.624	AutoPASS (8) (Maut an 13 Mautstationen) (7)	Alle, außer Motorräder (7)	Gemeindegrenze (7)	Ganzjährig rund um die Uhr (7)	Tagesrand: 1,70 € Spitze: 2,30 € (7)
Harstad	24.804	AutoPASS (8) (Maut an 8 Mautstationen) (7)	Alle, außer Motorräder (7)	Gemeindegrenze (7)	Ganzjährig rund um die Uhr (7)	1,60 € (7)

Stadt mit City Maut	Einwohner	Art	Fahrzeugklassen	Räumliche Regelung	Zeitliche Regelung	Gebührenhöhe
Stockholm	949.761 (13)	Cordon Pricing (Einfahrts- und Ausfahrtsgebühr) (2)	Alle (2)	Stadtzentrum (2)	Mo-Fr 6:30-18:30 (2)	Tageszeitabhängig pro Einfahrt und pro Ausfahrt 2006: 1,0 bis 2,0 € 2016: 1,5 bis 4,5 € Maximum 13€/Tag (2)
Göteborg	572.799 (14)	Cordon Pricing (Einfahrts- und Ausfahrtsgebühr) (2)	Alle (2)	Stadtzentrum (2)	Mo-Fr 6:30-18:30 (2)	Tageszeitabhängig pro Einfahrt und pro Ausfahrt 2006: 1,0 bis 2,0 € 2016: 1,5 bis 3,5 € Maximum 13€/Tag (2)
Palermo	657.960 (16)	Verkehrsbeschränkte Zone der Innenstadt (ZTL Centrale) (17)	Alle außer Motorräder und Elektrofahrzeuge; Einfahrtverbot für Benzinfahrzeuge Euro 0, 1 und 2 sowie Dieselfahrzeuge Euro 0, 1, 2 und 3 (17)	Die Zone erstreckt sich von der Piazza Giulio Cesare bis zur Via Cavour und von der Porta Nuova bis zur Porta Felice (17)	Mo-Do 8:00-20:00; Mai-Oktober: Fr 8:00-0:00 Sa 0:00-6:00 und 20:00-00:00 So 0:00-6:00 November-April: Fr 8:00-20:00 und 23:00-00:00 Sa 0:00-6:00 und 23:00-00:00 So 0:00-6:00 (17)	5 € (Tagesticket für Touristen) 20 € (Monatsticket für Touristen) (17)
Mailand	1.396.059 (18)	Area C (Staugebühr) (19)	Zugang für Diesel Euro 3 oder darunter, Benzin Euro 0 und Privatfahrzeuge über 7 m Länge verboten; Elektrofahrzeuge, Motorräder und Roller, Fahrzeuge öffentlicher Versorgungsunternehmen, Polizei- und Rettungsfahrzeuge, Busse und Taxis sind von der Abgabe befreit (19)	Stadtzentrum (ausgewiesene Verkehrssperrzone über Tore zugänglich = 8,2 km ²) (19)	Mo-Mi 7:30-19:30, Do 7:30-18:00, Fr 7:30-19:30; Seit 2021 Ab 10:00 (19)	Siehe Abb. 1 (19)

Stadt mit City Maut	Einwohner	Art	Fahrzeugklassen	Räumliche Regelung	Zeitliche Regelung	Gebührenhöhe
Valletta	5.946 (20)	Controlled Vehicular Access (CVA) (22)	Alle Fahrzeugtypen außer Motorräder und Elektro-/Hybridfahrzeuge sowie Fahrzeuge des öffentlichen Nahverkehrs, Einsatz- und Sicherheitsfahrzeuge und Fahrzeuge mit Personenbeförderung von mehr als 10 Personen (21)	Stadtzentrum (21)		Kostenlos ab 14 Uhr an Wochentagen sowie ganztägig an Samstagen, Sonn- und Feiertagen; 0-30 Min: kostenlos; 30-60 Min: 0,82 €; > 60 Min: 0,82 €/h (Max. 6,52 €) (21)
Singapur	9.975.689 (23)	Electronic Road Pricing (ERP) (24)	Alle (24)	Alle Straßen, die mit dem Stadtzentrum verbunden sind sowie entlang von Ausfall- & Schnellstraßen mit starkem Verkehr (24)	Immer (24)	Je nach Ort und Zeit entsprechend Geschwindigkeit 0,70 - 4.2 Euro (24, 26)

Übersicht Gebührenhöhe Mailand

Motorklasse →	Benzin							Diesel							Hybrid / CNG / LPG	Elektrisch	Roller
	6	5	4	3	2	1	0	6	5	4	3	2	1	0			
Nicht-Residenten	5 €							5 €							kostenlos 1	kostenlos	kostenlos
Bewohner ²	2 €							2 €							kostenlos 1	kostenlos	kostenlos
Kommerziell	3 €							3 €							kostenlos 1	kostenlos	Na
Öffentlicher Dienst ³	kostenlos							kostenlos							kostenlos		Na

1. bis September 2022^[18]

2. Einwohner haben auch 40 freie Zugänge pro Jahr

3. Beinhaltet öffentliche Verkehrsmittel, Rettungsfahrzeuge, Taxis

4. mit Ausnahmen

Quellen:

London:

- (1): [London Population 2022 \(Demographics, Maps, Graphs\) \(worldpopulationreview.com\)](#)

Durham:

- (3): [Durham Population 2022 \(Demographics, Maps, Graphs\) \(worldpopulationreview.com\)](#)
- (4): [Durham City congestion charge - Wikipedia](#)
- (5): [Durham Peninsula Ladezone - Durham County Council](#)

Bergen:

- (6): Stadt Bergen (Norwegen): Stadtbezirke - Einwohnerzahlen, Grafiken und Karte (citypopulation.de)
- (7): Citymaut und Umweltzonen in Norwegen | ADAC
- (8): Über die Mautregelung | AutoPASS

Trondheim

- (9): [Trondheim – Wikipedia](#)

Haugesund

- (10): [Haugesund – Wikipedia](#)

Stavanger

- (11): [Stavanger – Wikipedia](#)

Kristiansand:

- (12): [Kristiansand – Wikipedia](#)

Stockholm:

- (13): [Stockholm – Wikipedia](#)

Göteborg:

- (14): [Göteborg – Wikipedia](#)

Oslo:

- (15): [Oslo – Wikipedia](#)

Palermo:

- (16): [Palermo – Wikipedia](#)
- (17): [Citymaut und Umweltzonen Italien | ADAC](#)

Mailand:

- (18): [Mailand – Wikipedia](#)
- (19): [Milan Area C - Wikipedia](#)

Valletta:

- (20): [Valletta Population 2022 \(Demographics, Maps, Graphs\) \(worldpopulationreview.com\)](#)
- (21): [Valletta - CS \(urbanaccessregulations.eu\)](#)
- (22): [CVA - Controlled Vehicular Access \(gov.mt\)](#)

Singapur

- (23): [Singapore Population 2022 \(Demographics, Maps, Graphs\) \(worldpopulationreview.com\)](#)
- (24): [Elektronische Straßenberechnung – Wikipedia](#)
- (25): [Singapur Area Licensing Scheme – Wikipedia](#) (altes System!)
- (26): https://onemotoring.lta.gov.sg/content/onemotoring/home/driving/traffic_information/traffic-smart.html

2. Wirkungen von City Maut Systemen

Stadt mit City Maut	Modal Split	Verlagerung Kfz	Vermeidung Kfz	Schadstoffemissionen	CO ₂ -Emissionen	Anmerkungen
London	Von 2003 bis 2017: Rückgang des Pkw-Anteils am Modal-Split von 46 % auf 36 % Anzahl der zurückgelegten Fahrten mit Bussen und Taxen im zentralen Bereich Londons + 20 % (6, A1 - S.25)	50% auf ÖV 25% Umfahrung 10% Rad und Taxi 10% Vermeidung oder außerhalb der Gebührenzeiten	2003-2005: Anzahl Pkw - 33 % (15) 2007 Western Extension: Rückgang der Fahrleistung im Westen 11 % (16)	NO _x : In der Mautzone - 8 %, auf der Inneren Ringstraße + 1,5 % PM ₁₀ : In der Mautzone - 6 %, Innere Ringstraße - 1,4 % (6, A1 - S.33)		Staubbedingte Reisezeitverluste - 60 % (6, A1 - 25) Durchschnittsgeschwindigkeit + 19 % (8, S.33)
Durham			Fahrzeugaktivität auf der Straße: - 85 % (7)			
Bergen	Keine Umstiege zu den ÖV festgestellt (8, S. 25)		Nachfragerückgang 6 % - 7 % (6, A1 - S.65)			City Maut vorübergehend eingestellt (5) (6, A1 -35)
Trondheim	22 % der Einwohner wechselten das Transportmittel, Busverkehr an Wochentagen + 7 % (6, A1 - S.41)	Verlagerung der Fahrten zu Nebenverkehrszeiten (8, S.28)	Elastizität mit Zeitkosten: -0,59 Elastizität ohne Zeitkosten: -0,22 (11)			City Maut vorübergehend eingestellt (5)
Oslo			Rückgang der Nachfrage im Kfz-Verkehr nach Einführung im Jahr 1990 um ca. 5 % (1) (8, S.8)			
Stockholm	Anteil des ÖV wuchs um 3-6% (14) Im ÖPNV Passagieren beim Schienenverkehr + 40.000 pro Tag. Bei städtischen Buslinien + 25.000 (+9%); (6, A1 - 8)	50 % der wegfallenden Autofahrten verlagerte sich auf den ÖV (8, S. 38)	Rückgang der Nachfrage im Kfz-Verkehr am Kordon um ca. 20 % (1); Rückgang zwischen 18 - 22 % (3 Tabelle 1)	Rückgang der Luftschadstoffe zwischen 10-14 %, davon Stickoxide (NO _x) um 8,5 %. (3) Belastungsmengen von Stickoxiden sanken um 6,8 % sowie Feinstaub (PM ₁₀) um 9,4 % (4)	CO ₂ -Emissionen sanken in der gesamten Metropolregion um 2-3 % (3) Emissionen sanken um 14 % (4)	Preiselastizität Pkw 2006: -0,87 (1) Reduzierte Mortalität z.B. aufgrund weniger Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Lungenkrebs (3)

Stadt mit City Maut	Modal Split	Verlagerung Kfz	Vermeidung Kfz	Schadstoffemissionen	CO ₂ -Emissionen	Anmerkungen
Göteborg			Rückgang der Nachfrage im Kfz-Verkehr am Kordon um ca. 10-12 % (1, 12)			Preiselastizität Pkw 2013: -0,69 (1)
Mailand	Keine Effekte (14)		Verkehrsaufkommen -36 % - 33% Feinstaub (14) (nach 3 Monaten) (2)			
Singapur	Zunahme von Car-Sharing und Carpooling und Nutzung des ÖV (10) 12% -20% Umsteigen auf Busse bei Steigerung der Maut um 1€ (13)	Verlagerung in Richtung ÖV (10)	Verkehrsaufkommen - 10 % bis - 15 % (6, A1 - 77)			Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit um 20 % (6, A1 - 77)

Quellen:

(2): Zimmer et al. 2014

(3): Eliasson 2014

Die Zahl der in der Innenstadt gefahrenen Fahrzeugkilometer verringerte sich um rund 16 %. Außerhalb der Innenstadt sank das Verkehrsaufkommen um etwas mehr als 5 %. Diese Effekte sind in den Folgejahren entweder konstant geblieben oder folgten dem langfristigen Trend der Verkehrsverringering.

(4): Kretzler 2008

(5): Sammer, Gerd 2012, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität

[Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts | SpringerLink](#)

(6): Roth 2009

(7): [Durham City congestion charge - Wikipedia](#)

(8): Hagen und Reining 2019

(9): [Milan Area C - Wikipedia](#)

Area C verringerte die Fahrzeugeinfahrten in der Stadt um etwa 30%, erhöhte die Durchschnittsgeschwindigkeit der Busse und reduzierte die Umweltverschmutzung.

Spätere Ergebnisse bestätigten den Trend zu sinkenden Verkehrsstaus in der Stadt. In den ersten sechs Monaten des Jahres 2015 war die durchschnittliche Anzahl der Autos, die in den Sperrbereich einfuhren, um 28,6% geringer als im gleichen Zeitraum des Jahres 2011, während des Ecopass. Im Jahr 2014 gab es während der Betriebszeit des Gebiets C 21,6 Millionen Zugänge zum Sperrgebiet. Die meisten Fahrer fahren nur wenige Male im Jahr in das Sperrgebiet, wobei etwa zwei Drittel der Autos im Jahr 2014 4 Mal oder weniger einfahren. Darüber hinaus haben die meisten Einwohner (71%), die in der Gegend leben, nicht alle 40 kostenlosen Genehmigungen pro Jahr ausgeschöpft. Unter Berücksichtigung einer Schätzung der Bereitschaft, für die PM10-Reduzierung zu zahlen, schätzte eine Studie, dass der Wohlfahrtsgewinn, den Area C allein aus der Verringerung der Luftverschmutzung erzielt, 3 Milliarden US-Dollar pro Jahr beträgt, was hauptsächlich auf eine verringerte Verschmutzung außerhalb des ZTL-Gebiets zurückzuführen ist. Und das, obwohl die Mailänder Fahrzeugflotte im Vergleich zu anderen Städten der Welt relativ sauber ist.

(10): [Elektronische Straßenberechnung – Wikipedia](#)

Eine Studie über die langfristigen Auswirkungen von Staugebühren in Singapur behauptete, dass "Verkehrsstaus nicht beseitigt worden seien - sie seien lediglich in Zeit und Ort verschoben worden" und dass die durchschnittliche Reisezeit gestiegen sei. Im Gegensatz dazu stellte ein anderer Bericht fest, dass der Straßenverkehr während der Stoßzeiten um fast 25.000

Fahrzeuge zurückging, wobei die durchschnittliche Straßengeschwindigkeit um etwa 20% zunahm. Innerhalb der Sperrzone selbst ist der Verkehr während der ERP-Betriebszeiten um etwa 13% zurückgegangen, wobei die Fahrzeugzahlen von 270.000 auf 235.000 gesunken sind. Es wurde beobachtet, dass Fahrgemeinschaften und öffentliche Verkehrsmittel zugenommen haben, während die Stunden des Spitzenverkehrs auch allmählich nachgelassen und sich auf Nebenverkehrszeiten ausgeweitet haben, was auf eine produktivere Nutzung des Straßenraums hindeutet. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die durchschnittlichen Straßengeschwindigkeiten für Schnellstraßen und Hauptstraßen trotz des im Laufe der Jahre gestiegenen Verkehrsaufkommens gleichgeblieben sind. In einigen Fällen kann die Implementierung eines ERP-Portals entlang einer Straße den Verkehr auf äußere Straßen verlagern oder potenzielle Autonutzer in Richtung öffentlicher Verkehrsmittel verlagern.

(11) Meland, Solveig; Tretvik, Terje; Welde, Morten 2010, S. 484

(12): Börjesson und Kristoffersson 2018, S. 45

(13): Agarwal und Koo 2016

(14): Batty et al. 2015

(15): Leape 2008, S. 165

(16): TP for London 2008

Anhang 7: Übersicht Road Pricing

	Singapore	London (UK)	Milan (Italy)	Stockholm (Sweden)	Gothenburg (Sweden)
Details^{a,b,c}					
Years in place	1975: Area licensing 1998: Electronic price	2003	2008	2006: Trial 2007: Permanent	2013
Goal(s) (in order)	Congestion	Congestion (travel time, goods movement), improved bus service	Air pollution, congestion	Congestion, environment	Infrastructure funds, congestion, air pollution
Type (control points)	Cordon and freeway pricing (66 points)	Cordon (area, 174 points)	Cordon (43 points)	Cordon (18 points)	Cordon (37 points)
Cost	0.3–1.7 Euro for conventional vehicles	Daily fee, GBP 11.50	2 to 10 Euro	Per crossing (either way), 10–20 SEK	Per crossing (either way), 8 to 18 SEK
Differentiation	Vehicle class		Vehicle emissions	“Clean car”	
Timing	7:30am-7:30pm Weekdays	7am-6pm weekdays	7:30am-7:30pm weekdays	6:30am-6:30pm weekdays	6am to 6:30pm, weekdays
Exemptions	Emergency vehicles only	Buses, taxis, emergency vehicles, discount for residents (23% of total traffic)	Emergency vehicles, public transit, discount for residents	30% of total traffic	
Revenue use		Improved bus/rail systems		Transport infrastructure (local control of revenue)	Transport infrastructure
Impacts^{a,c}					
Traffic volume	–40 to –45%	–18% to –21% ^a	–14% to –34% –49% HDV	–15% to –20%	–9 to –12%
Mode share	+21% transit	+59% bikes +7% to +18% transit	+6 to +9% transit	+5% to +9% transit	+6% transit
GHG emissions		–16%	–22%	–13%	–2.5%
Air pollution		–13 to –16%	–6 to –40%	–8 to –13%	
Implementation^b					
Trial	No	No	No	Yes	
Referendum	No	No	Yes	Yes	Yes
Factors considered^b					
Privacy	Yes	Yes			n/a
Equity	Yes	Yes	Yes	Yes	n/a
Complexity	Yes		Yes	Yes	n/a
Uncertainty		Yes	Yes	Yes	n/a

Quelle: Axsen et al 2021, S.3