

„Analyse der Wirkung einer City-Maut am Beispiel der Stadt Nürnberg“

Masterarbeit

im Masterstudiengang

Urbane Mobilität

vorgelegt von

Christopher Götz

Matrikelnummer: 3249380

am 10.05.2021

an der

Technischen Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

Fakultät Bauingenieurwesen

Erstprüfer/-in: Prof. Dr.-Ing. Harald Kipke

Zweitprüfer/-in: Tilman Gänslar

Kurzfassung

Eine City-Maut ist in vielen europäischen Ländern bereits eine Maßnahme zur Verkehrsreduktion. Auch in Nürnberg ist eine City-Maut zur Verkehrsreduktion denkbar. Im Rahmen dieser Masterarbeit wird ein City-Maut Konzept für Nürnberg mit den wichtigsten Bemessungsgrundlagen erarbeitet/betrachtet. Im Zuge der City-Maut wird eine Gebühr von 3,50 Euro am Tag für die Benutzung der Straßen innerhalb des Nürnberger Rings B4R erhoben. Mittels PTV Visum wird das erarbeitete City-Maut-Konzept modelliert und die verkehrlichen Auswirkungen auf den Verkehr in Nürnberg wird analysiert. Die zentrale Forschungsfrage ist dabei, inwiefern der Verkehr in Nürnberg durch die Maut reduziert wird und ob eine Mobilitätsänderung stattfindet. Essenzieller Punkt für die Bestimmung des Mautpreises und für die Modellierung war die Ermittlung eines Value of Times für die Bevölkerung in Nürnberg von 6,25 Euro. Die City-Maut bewirkt eine deutliche Reduktion der MIV Nachfrage sowohl im eigentlichen Mautgebiet als auch im gesamten Stadtgebiet von Nürnberg. Neben der Verkehrsreduktion wird auch eine Mobilitätsänderung erreicht, indem die MIV Nachfrage auf die Nachfrage des Umweltverbundes übergeht. Für eine erfolgreiche Umsetzung einer City-Maut müssen neben einem Konzept auch Grundvoraussetzungen, wie ein akuter Problemdruck, der politische Wille und die Verfügbarkeit geeigneter Erfassungstechnik erfüllt sein. Eine hohe öffentliche Akzeptanz sowie ein leistungsstarker ÖPNV können die Wirkung einer City-Maut steigern.

Abstract

A city toll is already a traffic reduction measure in many European countries. In Nuremberg, too, a city toll is conceivable as a means of reducing traffic. Within the scope of this master thesis, a city toll concept for Nuremberg with the most important assessment bases will be developed. In the course of the city toll, a fee of 3.50 Euros per day will be charged for the use of the roads within the Nuremberg ring road B4R. Using PTV Visum, the developed city toll concept will be modelled and the traffic effects on the traffic in Nuremberg will be analysed. The central research question is to what extent the traffic in Nuremberg is reduced by the toll and whether a change in mobility takes place. The essential point for the determination of the toll price and for the modelling was the determination of a Value of Time for the population in Nuremberg of 6.25 Euros. The city toll causes a significant reduction of the MIV demand in the specific toll area as well as in the overall city area of Nuremberg. In addition to the traffic reduction, a mobility change is also achieved by transferring the MIV demand to the ecomobility demand. For a successful implementation of a city toll, basic requirements such as acute problem pressure, political will and the availability of suitable toll-collection technology must be met. A high level of public acceptance and an efficient public transport system can increase the effect of a congestion charge.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Einleitung	11
2. Kosten des Verkehrs	14
2.1 Externe Kosten	15
2.2 Stauungskosten	16
2.3 City-Maut als Instrument zur Internalisierung externer Kosten	17
2.4 Berechnung des Mautpreises mittels Grenzkosten	18
3. Value of Time	25
3.1 Definition VOT	25
3.2 Bestimmung VOT für Deutschland	26
3.3 Europäische VOT-Studien	28
3.3.1 <i>Stockholm</i>	29
3.3.2 <i>VOT Report Île-de-France</i>	32
3.4 Kriterien für den Zeitwert bzw. für die Zeitempfindlichkeit	33
3.4.1 <i>Einkommen</i>	33
3.4.2 <i>Verkehrsmodus/Verkehrsmittel</i>	35
3.4.3 <i>Fahrtzweck</i>	36
3.4.4 <i>Distanz/Reiseweite</i>	37
3.4.5 <i>Verkehrssituation/Verkehrsbedingungen/Stauung</i>	38
3.4.6 <i>Maut/Gebühren</i>	40
3.4.7 <i>Qualität des Reisens</i>	41
3.5 Ermittlung des Basis-VOT	42
3.5.1 <i>Kaufkraftstandard/Kaufkraftparitäten</i>	43
3.5.2 <i>Stauungsfaktor</i>	43
3.5.3 <i>Normierung VOT</i>	45
4. City-Maut	47
4.1 Bemessungsgrundlagen einer City-Maut	49

4.2 Technik der City-Maut Systeme.....	51
4.2.1 Automatische Kennzeichenerkennung (ANPR).....	52
4.2.2 Dedicated Short Range Communication (DSRC).....	53
4.2.3 Satellitenortung- Globales Navigationssatellitensystem (GNSS).....	53
4.2.4 Zentralsystem	54
4.3 Grundvoraussetzungen einer City-Maut	56
4.3.1 Problemdruck und geeignete Lösung.....	57
4.3.2 Technische Voraussetzungen.....	58
4.3.3 Politischer Wille	58
4.4 Erfolgsfaktoren einer City-Maut	59
4.4.1 Akzeptanz.....	59
4.4.2 Weitere Erfolgsfaktoren.....	62
4.5 Ausgestaltung der Maut in Nürnberg	63
6. Modellierung City-Maut Nürnberg	68
6.1 Implementation der Mautwiderstände.....	68
6.1.1 Nachfragemodell EVA-Personen	69
6.1.2 Verkehrsteilung/Moduswahl.....	69
6.1.3 Umlegung/Routenwahl.....	70
6.2 Datenaufbereitung.....	72
7. Auswertung und Analyse des City-Maut Konzepts	73
7.1 Analysemodus.....	73
7.1.1 IV-Nachfrage.....	73
7.1.2 ÖV Nachfrage.....	75
7.1.3 Streckenbelastung	75
7.2 Prognosemodus	77
7.2.1 IV-Nachfrage.....	77
7.2.2 ÖV-Nachfrage.....	79
7.2.3 Modal Split.....	82
8. Kritische Reflektion	85
8.1 Relevanz des VOT	85
8.2 Einordnung der Ergebnisse	86
8.2.1 Abgleich mit bestehenden Mautsystemen.....	86
8.2.2 Bewertung der Ergebnisse.....	88

9. Fazit	90
Literaturverzeichnis	XCI
Prüfungsrechtliche Erklärung	XCIV
Erklärung zur Veröffentlichung	XCV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Interne und externe Kosten der Nutzung des Pkw und der Verkehrswege	14
Abbildung 2: Externe Kosten nach Verkehrsträger 2016	15
Abbildung 3: Externe Kosten nach Kostenkategorien 2016	16
Abbildung 4: Bewertungswahrscheinlichkeit der EVA1-Funktion	22
Abbildung 5: Ermittlung der Mautkosten als Zeitaufschlag	24
Abbildung 6: Verkehrsbelastung im Mautgebiet und auf der Umfahrroute	29
Abbildung 7: Differenzen in der Reisezeit zwischen Essinge Bypass und Stadtzentrum	31
Abbildung 8: Einkommensabhängigkeit des VOT	34
Abbildung 9: Zahlungsbereitschaft in Abhängigkeit der Verkehrsmittel	35
Abbildung 10: VOT in Abhängigkeit des Fahrtzwecks	37
Abbildung 11: Identifikationsablauf eines ANPR-Systems	52
Abbildung 12: Funktionsweise eines satellitengestütztes Lkw-Mautsystem	54
Abbildung 13: Schema von Mautsystemen	55
Abbildung 14: Grundvoraussetzungen und Erfolgsfaktoren einer City-Maut	57
Abbildung 15: Mautgebiet von Nürnberg	64
Abbildung 16: Tagesganglinien im Außenkordon	65
Abbildung 17: Tagesganglinien Pegnitzbrücken	66
Abbildung 18: Fläche der City-Maut in Nürnberg	69
Abbildung 19: Zurückführung von Flächenmaut auf Streckenmaut	71
Abbildung 20: Rückgang IV Nachfrage im Mautgebiet	74
Abbildung 21: Streckenbelastung am Plärrer	77
Abbildung 22: Entwicklung MIV Nachfrage im Prognosemodus	78
Abbildung 23: Entwicklung der Personenfahrten im ÖV nach Nachfragesegment	80
Abbildung 24: Zunahme der Personenfahrten im ÖV	80
Abbildung 25: Gefahrene Personenkilometer ÖV im Nachfragesegment WE	82
Abbildung 26: Modal Split im Mautgebiet vor und nach Einführung der City-Maut	83
Abbildung 27: Modal Split im Stadtgebiet Nürnberg vor und nach Einführung der City-Maut	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ermittelte Parameter für die Grenzkostenberechnung	20
Tabelle 2: Berechnung der Durchschnitts- und Grenzkosten	21
Tabelle 3: Parameter für EVA-1-Funktion	22
Tabelle 4: Zeitwerte für ÖV und MIV in €/h	28
Tabelle 5: Vergleich von gebührenpflichtigen und nicht gebührenpflichtigen Fahrten	30
Tabelle 6: VOT für innerstädtischen Verkehr in Frankreich	33
Tabelle 7: Zeitwerte [€/h] in Abhängigkeit des Fahrtzwecks	36
Tabelle 8: Zeitwerte in Abhängigkeit der Reiseweite	38
Tabelle 9: Zeitwerte in Abhängigkeit der Verkehrssituation	39
Tabelle 10: Kostenverlagerung einer Minute von nicht gestauten zu gestauten Verkehrsbedingungen	40
Tabelle 11: KKS der verschiedenen Länder/Städte	43
Tabelle 12: Normierung VOT	46
Tabelle 13: Präferenzen für Bürgerbeteiligungsformen	61
Tabelle 14: Veränderung der IV Nachfrage im Analysemodus	74
Tabelle 15: Veränderung der ÖV Nachfrage im Analysemodus	75
Tabelle 16: Streckenbelastung am Knotenpunkt Plärrer	76
Tabelle 17: Veränderung der IV Nachfrage im Prognosemodus	78
Tabelle 18: Veränderung der ÖV Nachfrage im Prognosemodus	79
Tabelle 19: Gefahrene Personenkilometer ÖV / Nachfragesegment WE und gesamt	81
Tabelle 20: Modal Split Mautgebiet und Stadtgebiet Nürnberg Prognosemodus	83
Tabelle 21: Vergleich: Nürnberg, London, Stockholm, Mailand	87

Abkürzungsverzeichnis

AC	Average Costs
ANPR	Automatic Number Plate Recognition
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CR	Capacity Restraint
DSRC	Dedicated Short Range Communication
GNSS	Global Navigation Satellite System
IV	Individualverkehr
MIV	motorisierter Individualverkehr
KKP	Kaufkraftparitäten
KKS	Kaufkraftstandard
MC	marginal Costs
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ML	Mixed-Logit
MNL	Multinomial-Logit
MR	marginal revenue
OCR	Optical Character Recognition
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OBU	On-Board-Unit
RP	Revealed Preference
SC	Stated Choice
SEK	Schwedische Kronen
VOT	Value of Time

VTT	Value of Travel Time
VTTS	Value of Travel Time Savings
WE	Wohnen-Einkaufen

1. Einleitung

Das hohe Verkehrsaufkommen, insbesondere in den Innenstädten, stellt die Verkehrsplanung von Städten vor immer größere Herausforderungen. In Zukunft wird noch eine weitere Steigerung des Verkehrsaufkommens erwartet. Probleme wie Stauungsereignisse, Beeinträchtigungen der Umwelt, wie bspw. Schadstoffemission und Geräuschbelastung, aber auch Sicherheitsrisiken und Unfallfolgekosten werden weiter zunehmen. Eine City-Maut wird oft als Maßnahme aufgeführt, die den städtischen motorisierten Individualverkehr steuern und reduzieren soll und so zur Lösung der daraus resultierenden Probleme beitragen kann. Ein hohes Verkehrsaufkommen und dessen Folgen stellen auch für die Stadt Nürnberg ein Problem dar. Im Jahr 2019 (vor Corona Pandemie) war Nürnberg an sechster Stelle der meistgestauten Städte in Deutschland. Vergleicht man die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit des Peak-Verkehrs, mit der des Off-Peak-Verkehrs, so stellt man eine Reduktion von 29 km/h auf 22 km/h fest. Die durchschnittliche jährliche Verlustzeit durch Stau betrug 42 Stunden. Die durch Stau verursachten Kosten belaufen sich in Nürnberg auf 374 € pro Verkehrsteilnehmer pro Jahr. ¹

Ein Ansatzpunkt zur Lösung/Verringerung dieser Probleme ist eine City-Maut in der Stadt Nürnberg. In vielen europäischen und weiteren internationalen Städten werden zur Reduzierung und Lenkung des Verkehrs bereits City-Maut Systeme erfolgreich eingesetzt. Erfolge in Europäischen Städten, wie z.B. Verkehrsreduktion oder auch die Senkung der Emission von CO₂, Stickoxiden und Feinstaub bekräftigen die Forderung nach einer Adaption auch auf deutsche Städte. Ob dies auch in Deutschland umzusetzen ist, spaltet derzeit die Meinungen von Politik, Verbänden und der Bevölkerung in Deutschland. Aus der kontroversen und teils hitzigen Debatte um die Einführung eine City Maut wird deutlich, dass eine Notwendigkeit besteht, die Wirksamkeit und Effizienz eines solchen verkehrspolitischen Instruments auch im deutschen Umfeld näher zu untersuchen. Da die Wirkungen von Maßnahmen oft von individuellen Faktoren und Rahmenbedingungen abhängt und nicht verallgemeinert auf alle Städte übertragen werden kann, soll in dieser Arbeit ein City-Maut Konzept für die Stadt Nürnberg betrachtet werden. Nach aktuellem Erkenntnisstand gibt es derzeit noch keine vergleichbaren Arbeiten, die ein konkretes City-Maut Konzept in Nürnberg thematisieren.

Hintergrund der Arbeit ist die allgemeine Verkehrsreduzierung des IV und die daraus resultierenden Verbesserung der gestauten Verkehrssituation in Nürnberg. Im Optimalfall findet durch die Einführung der Maut eine Verkehrsverlagerung – ein sogenannter Model Shift – vom motorisierten Individualverkehr (MIV) hin zum öffentlichen Verkehr (ÖV) statt. Eine solche Lenkungswirkung würde eine Abnahme der Verkehrsnachfrage des MIV und eine Erhöhung der Verkehrsnachfrage im ÖV bedeuten. Neben den verkehrlichen Auswirkungen ist die Verbesserung der städtischen Luftqualität ein weiterer positiver Effekt der City-Maut. Dieser Effekt wird in dieser Arbeit nicht umfassend thematisiert, da diesbezüglich bereits

¹ INRIX 2021. INRIX Verkehrsstudie: Stau verursacht Kosten in Milliardenhöhe, Pressemitteilung. <https://inrix.com/press-releases/2019-traffic-scorecard-german/>

Studien, bspw. die Studie „Nürnberg nachhaltig mobil“², existieren. Auch rechtliche Grundlagen für eine Einführung einer City-Maut werden nicht betrachtet.

- Methodik und Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der vorliegenden Masterarbeit werden die entstehenden externen Kosten durch den Verkehr beleuchtet. Insbesondere die Staukosten seien hier erwähnt. Durch eine Grenzkostenberechnung werden die nötigen Mautkosten ermittelt, um die externen Kosten zu internalisieren. Die ermittelten Mautkosten stellen einen Zeitaufschlag dar, der durch einen Zeitwert, den sogenannten Value of Time (VOT) in ein Mautpreis umgerechnet wird. Sowohl der Zeitaufschlag als auch der Mautpreis werden im Verlauf der Arbeit zur Modellierung der City-Maut herangezogen.

Kern der Arbeit ist die Ermittlung des nötigen Widerstandes einer City-Maut. In der Realität entspricht dieser Widerstand dem Mautpreis. Der ermittelte Zeitaufschlag muss zu einem Mautpreis monetarisiert werden. Grundlage dazu stellt die Erhebung des sogenannten „Value of Time“ dar. Anhand von in verschiedenen Ländern umgesetzten Methoden und Berechnungsansätzen werden monetäre Werte der Zeit ermittelt bzw. berechnet. Die Zeitwerte sind durch verschiedene Kriterien und Einflussgrößen, wie beispielsweise das Einkommen, geprägt. Die Übertragbarkeit dieser Faktoren auf die Stadt Nürnberg wird bei der Bestimmung des VOT für Nürnberg berücksichtigt.

Anschließend wird das Instrument City-Maut vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf den Zielen bzw. Motiven für eine City-Maut Einführung und den verschiedenen Bemessungsgrundlagen und unterschiedlichen technischen Systemen einer City-Maut. Des Weiteren werden Voraussetzungen bzw. Erfolgsfaktoren für das erfolgreiche Einführen einer City-Maut zusammengestellt. In diesem Kapitel wird abschließend ein für Nürnberg spezifisches City-Maut-Konzept unter Berücksichtigung der Bemessungsgrundlagen ausgearbeitet.

In Verkehrsmodellen wird der Widerstand durch die Reisezeit berücksichtigt. Dieser Widerstand spiegelt die Dauer der Ortsveränderung zwischen zwei Relationen wider, enthält aber keine monetären Kosten. Durch die Einführung der City-Maut wird der Reisezeitwiderstand noch zusätzlich um den Mautpreis erhöht. Der ermittelte Zeitaufschlag wird in das Verkehrsmodell der Stadt Nürnberg als zusätzlicher Reisezeitwiderstand in die Nachfragemodellierung eingepflegt. Die Umlegung erfolgt mittels des TRIBUT-Lernverfahrens, bei dem ein fixer Mautpreis unter Berücksichtigung des ermittelten Nürnberg-spezifischen VOT als Widerstand miteinbezogen wird. Zur Modellierung wird die Verkehrsplanungssoftware PTV Visum 2020 verwendet.

Anhand des Verkehrsmodells sollen neue Nachfragewerte für den MIV und den ÖV unter Einbezug einer City-Maut berechnet werden. Mittels spezieller Kenngrößen werden die verkehrlichen Auswirkungen einer City-Maut für die Stadt Nürnberg analysiert und eine mögliche Mobilitätsänderung untersucht. Zudem werden die Ergebnisse in Relation zu den verkehrlichen Auswirkungen in Zuge von City-Maut Einführungen in anderen Städten gesetzt.

² Zöbel J., Heidinger K., Jaeger F., Pluschke P., Herzer P., Mahr A. 2017. Nürnberg nachhaltig mobil – City performance Tool – Air, Siemens plc., Stadt Nürnberg

Abschließend werden eine kritische Bewertung und eine Reflexion der Ergebnisse durchgeführt und als Ergebnis der Arbeit zusammengestellt.

- Forschungsfragen

Ziel der Arbeit ist es, einen Mautpreis für das City-Maut Konzept zu ermitteln, um die Staukosten volkswirtschaftlich optimal zu internalisieren. Dieser wird aus dem Zeitaufschlag der Grenzkostenberechnung und dem VOT (Zeitwert) für Nürnberg berechnet. Für die Berechnung des Mautpreises stellt sich daher die Frage welchen Wert die Zeit in Bezug auf die Reisezeit im Nürnberger Verkehrsraum hat. Mittels des Verkehrsmodells wird dieser Mautpreis modelliert und deren verkehrlichen Auswirkungen auf die Verkehrsfrage des MIV in Nürnberg analysiert. Eine zentrale Forschungsfrage ist, ob der bestimmte Reisezeitwiderstand auch zu einer erwünschten Verkehrsreduktion in Nürnberg führt und ob eine Lenkungswirkung eintritt. Ist dies nicht der Fall soll anhand des Modells ermittelt werden ab welchem Reisezeitwiderstand bzw. Mautpreis eine Lenkungswirkung eintritt. Neben den verkehrlichen Auswirkungen sollen auch die Erfolgsfaktoren und Voraussetzungen herausgearbeitet werden, die für eine erfolgreiche Umsetzung einer City-Maut nötig sind. Folgende Forschungsfragen liegen folglich dieser Arbeit zugrunde:

- Welche Voraussetzungen bzw. Erfolgsfaktoren sind entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung einer City-Maut?
- Welcher Zeitwert (VOT) kann für den Nürnberger Verkehrsraum angenommen werden?
- Wie hoch ist der anzusetzende Mautpreis in Nürnberg?
- Welche verkehrlichen Auswirkungen hat eine City-Maut in Nürnberg?
- Bedingt die Einführung einer City-Maut in Nürnberg eine Mobilitätsänderung bzw. Lenkungswirkung?

2. Kosten des Verkehrs

Durch den Kauf und den Betrieb von Fahrzeugen sowie durch die Benutzung der Infrastruktur mit den Fahrzeugen entstehen die volkswirtschaftlichen Kosten des Verkehrs. Allgemein werden diese in interne und externe Kosten untergliedert. Interne Kosten sind private Kosten, die der Verkehrsteilnehmende bewusst berücksichtigt, wie beispielsweise der Kraftstoffverbrauch und der Zeitaufwand einer Reise, und in seine Entscheidung miteinfließen lässt. Bei der Benutzung der öffentlichen Straßeninfrastruktur resultieren jedoch auch gesamtwirtschaftliche Kosten, welche den Verursachern nicht angelastet werden (abgesehen von der KFZ-Steuer). Die immer weiter steigende Verkehrsnachfrage in den Innenstädten führt zu einer zunehmend ineffizienten Nutzung des Straßenraums und zu externen Effekten. Externe Effekte bzw. externe Kosten sind negative Auswirkungen auf Dritte. Die Verursacher der Kosten werden hierfür aber nicht entsprechend finanziell herangezogen. Eine Überlastung der Straßenkapazitäten führt zu Staus, durch die zusätzliche Zeitverluste und Umweltbelastungen (Stress, Lärm, Unfälle und erhöhte Treibhausgas-, Feinstaub- und Stickoxidimmissionen) entstehen, die die externen Effekte des Verkehrs noch steigern.^{3 4}

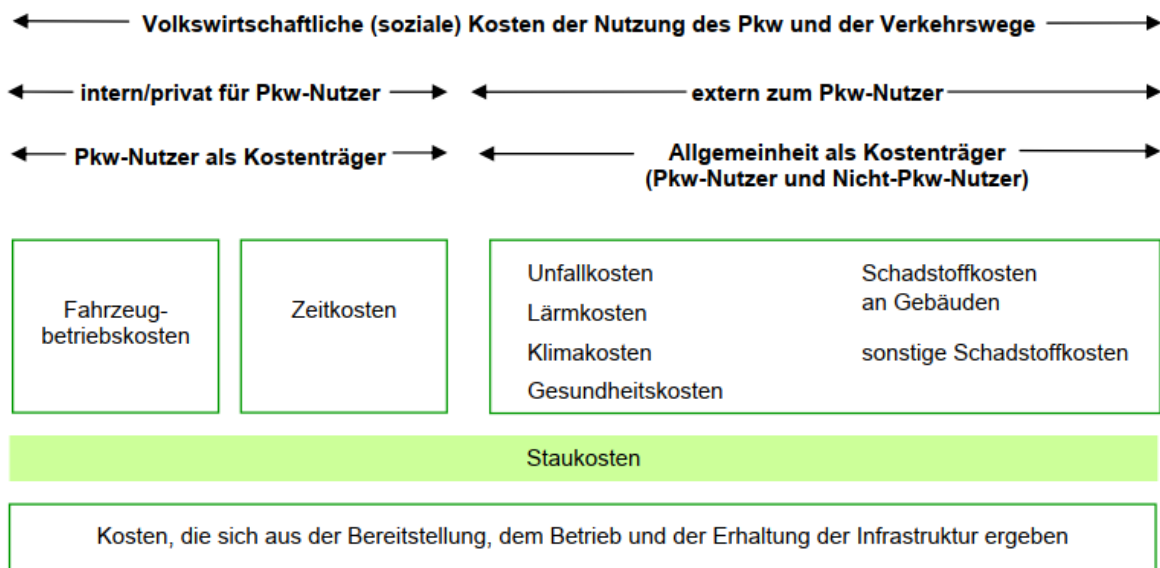


Abbildung 1: Interne und externe Kosten der Nutzung des Pkw und der Verkehrswege⁵

Abbildung 1 stellt die volkswirtschaftlichen Kosten der PKW- und Infrastrukturnutzung dar. Diese werden in interne und externe Kosten gegliedert. Zu den internen Kosten gehören die Fahrzeugbetriebskosten und die Zeitkosten für eine Ortsveränderung. Externe Kosten umfassen Unfall-, Lärm-, Klima-, Gesundheits-, Schadstoffkosten an Gebäuden sowie sonstige Schadstoffkosten und auch Zeitverluste. Kosten die durch Stau entstehen, tragen

³ Hagen T., Reining M. 2019. Übersicht über mögliche ökonomische Auswirkungen von City-Mauts, ReLUT - ResearchLab for Urban Transport, Frankfurt am Main S. 2 f.

⁴ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München S. 10 ff.

⁵ Quelle: Steininger K., Gobiet W. 2005. Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich, Wegener Center Verlag, Graz S.47

sowohl die PKW-Nutzer als auch die Allgemeinheit. Ähnlich verhält es sich mit den Kosten, die durch die Bereitstellung, Betrieb und Erhalt der Infrastruktur entstehen.

2.1 Externe Kosten

Im Allgemeinen können externe Kosten auch als Verlust bzw. Nutzenentgang, den anderen Personen ohne ihr Einverständnis mittragen müssen, definiert werden. Zu den externen Kosten des Verkehrs zählen Umweltkosten, die im Wesentlichen von Lärmkosten, Schadstoffkosten an Gebäuden, Well-to-tank Emissionen, Klimakosten durch Treibhausgas-Emissionen, Gesundheitskosten und Erntebeeinträchtigung durch Schadstoffe geprägt sind. Des Weiteren gehören auch Unfallkosten und Stauungskosten zu den externen Kosten. Die externen Kosten werden von der Allgemeinheit entweder direkt oder indirekt etwa über allgemeine Steuern getragen. Direkte externe Kosten sind die externen Effekte, die die Verkehrsteilnehmer gegenseitig aufeinander haben, z.B. längeren Fahrtzeiten und Stress in Folge von überfüllten Straßen. Indirekte externe Kosten resultieren aus den externen Effekten, die von der gesamten Gesellschaft, also auch Nichtteilnehmer des Verkehrs, getragen werden.^{6 7 8}

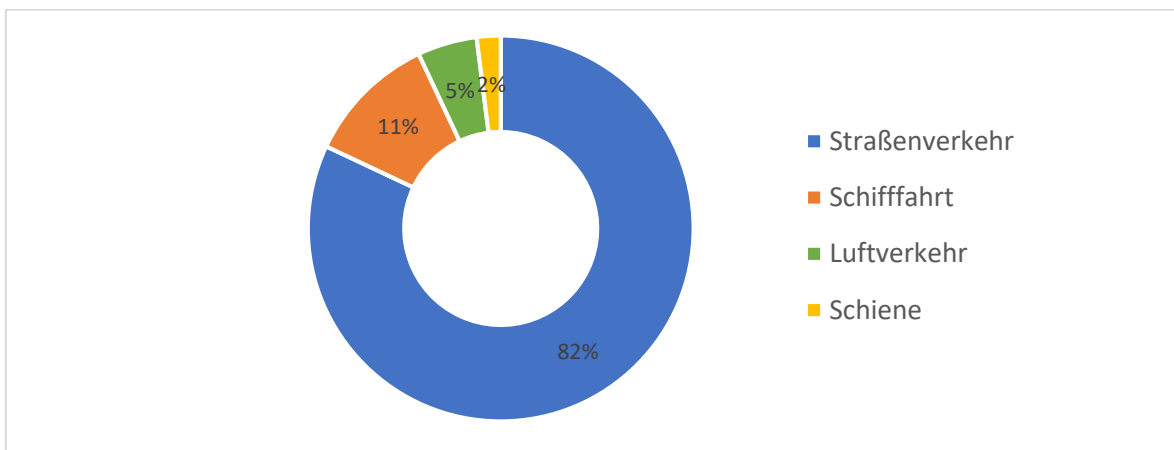


Abbildung 2: Externe Kosten nach Verkehrsträger 2016⁹

Im Jahr 2016 beliefen sich die externen Kosten des Verkehrs nach Schätzungen der EU-Kommission auf 987 Milliarden Euro für alle 28 EU-Staaten. In Europa werden 82 Prozent der externen Kosten des Verkehrs durch den Straßenverkehr verursacht. Im Gegensatz dazu werden nur zwei 2 Prozent der externen Kosten durch den Schienenverkehr hervorgerufen. Die gesamten externen Kosten des Verkehrs in Deutschland für das Jahr 2017 belaufen sich auf rund 149 Milliarden Euro. 94,5 Prozent fallen davon auf den Straßenverkehr zurück. Betrachtet man die verschiedenen externen Kosten, so fällt auf, dass knapp

⁶ Hagen T., Reining M. 2019. Übersicht über mögliche ökonomische Auswirkungen von City-Mauts, ReLUT - ResearchLab for Urban Transport, Frankfurt am Main S.3 f.

⁷ Steininger K., Gobiet W. 2005. Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich, Wegener Center Verlag, Graz S. 47 f.

⁸ Tompson J. M., 1978: Grundlagen der Verkehrspolitik, Bern, Stuttgart S. 112 f.

⁹ Quelle: Eigene Darstellung nach Schrotten A., Van Essen H., Van Wijngaarden L., Sutter D., Adrew E. 2018. Preliminary results of the study: "Sustainable Transport Infrastructure Charging and Internalisation of Transport Externalities: Main Findings", CE Delft, Delft S. 49

die Hälfte der Kosten externe Effekte auf die Umwelt, bestehend aus Lärm, Luftverschmutzung und Effekte auf Gebäude und Landschaft (Habitat) sind. Die Kosten für Staus und die Überbelastung der Straßen umfassen mehr als ein Viertel (27 Prozent) aller durch den Verkehr entstandenen Kosten und haben damit einen großen Anteil an den gesamten externen Kosten. Die Stauungskosten umfassen zum einen direkte und indirekte Kosten für den MIV und Wirtschaftsverkehr die durch Zeitverluste und die eingeschränkte Planbarkeit und Verlässlichkeit hervorgerufen werden und zum anderen auch indirekte Umwelt- und Gesundheitskosten, die auf gestaute Verkehrsbedingungen zurückzuführen sind. ^{10 11}

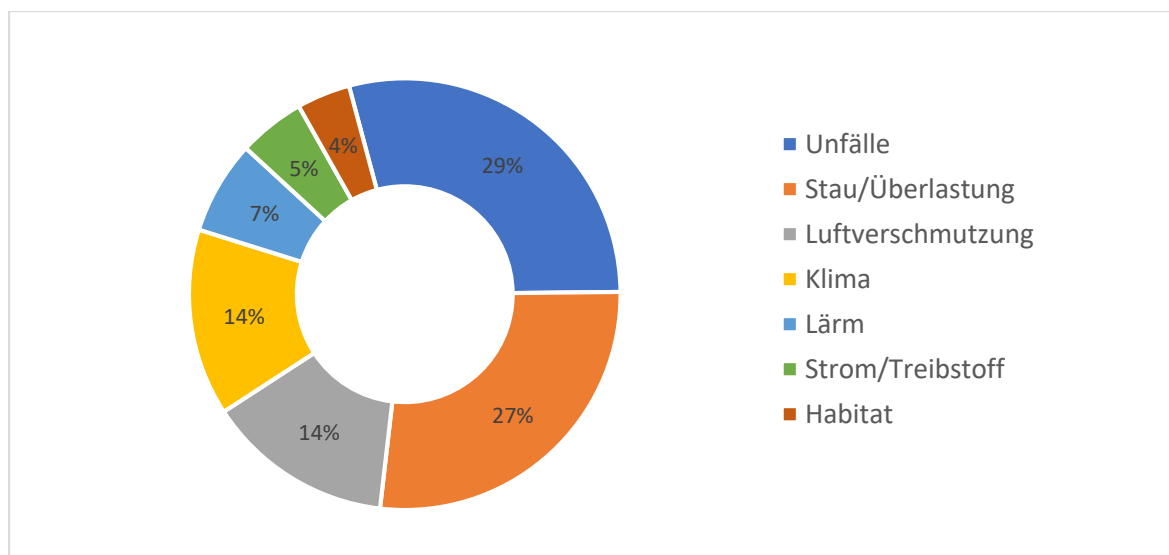


Abbildung 3: Externe Kosten nach Kostenkategorien 2016 ¹²

2.2 Stauungskosten

Stauungskosten nehmen bereits 27 Prozent der externen Kosten ein, dieser Anteil wird sich mit steigenden Verkehrsnachfrage noch weiter erhöhen. Bei der Betrachtung der externen Kosten nehmen die Staukosten daher einen besonderen Stellenwert ein. Mit zunehmender Verkehrsstärke und dem Erreichen der Kapazitätsgrenze der Verkehrsinfrastruktur durch eine zu hohe Anzahl an Verkehrsteilnehmern, resultieren Überlastungen der Straßen und damit verbundene Reduktionen der Fahrgeschwindigkeit. Verkehrsstauungen beginnen schon vor Erreichen des Kapazitätsmaximums des Systems. Stauungskosten treten schon bei leichter Belastung des Systems auf. Dies ist bei der Betrachtung der Staukosten insbesondere aus ökonomischer Sicht von Bedeutung, da schon bei geringem Verkehr Kosten entstehen. Die Differenz zwischen den realen Fahrkosten und den Fahrkosten, die sich bei

¹⁰ Schrotten A., Van Essen H., Van Wijngaarden L., Sutter D., Adrew E. 2018. Preliminary results of the study: "Sustainable Transport Infrastructure Charging and Internalisation of Transport Externalities: Main Findings", CE Delft, Delft S. 49

¹¹ Bieler C., Sutter D. 2019. Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffverkehr 2017, Allianz pro Schiene e.V. S. 19

¹² Quelle: Eigene Darstellung nach Schrotten A., Van Essen H., Van Wijngaarden L., Sutter D., Adrew E. 2018. Preliminary results of the study: "Sustainable Transport Infrastructure Charging and Internalisation of Transport Externalities: Main Findings", CE Delft, Delft S. 49

einer Belastung unter der Kapazitätsgrenze bzw. ohne anderen Verkehrsteilnehmer ergeben würden, werden als die Staukosten des Verkehrs bezeichnet. Staukosten erhöhen einerseits die internen Kosten für die Verkehrsteilnehmer, da es bei Stau zu Zeitverlusten und höheren Fahrzeugbetriebskosten kommt. Diese Kosten werden von den Verkehrsteilnehmern auch bewusst wahrgenommen und in ihre Verkehrsentscheidungen mit integriert. Zum anderen entstehen durch Stau auch externe Kosten, da das Befahren der Straße die Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten der anderen Verkehrsteilnehmer erhöht. Die Kosten für Zeitverluste werden nicht nur von den im Stau stehenden PKW-Nutzer, sondern auch von ÖV-Nutzern und wirtschaftlichen Betrieben getragen. Transportunternehmen werden z. B. im ausgelasteten Straßennetz zu Umwegen oder zu Zeitverlusten gezwungen. In jedem Fall dauern die Fahrten durch erhöhtes Verkehrsaufkommen länger als geplant. Um dies zu kompensieren und schnelle, termingerechte Lieferungen gewährleisten zu können, werden mehr Fahrzeuge eingesetzt. Dies erhöht sowohl die Betriebskosten als auch die Personalkosten. Zudem werden durch Stau auch die Emissionen aus dem Verkehr insgesamt erhöht und damit steigen auch die Umwelt- und Gesundheitskosten für die Allgemeinheit. Die externen Kosten des Straßenverkehrs sind von der Stauintensität abhängig und steigen mit dem Grad der Überlastung exponentiell an. Bei sehr schwankenden Nachfragen bzw. in Großstädten mit starken Verkehrsspitzen hat die Entstehung von externen Kosten durch Stau damit besondere Brisanz.^{13 14 15}

2.3 City-Maut als Instrument zur Internalisierung externer Kosten

Das zugrundeliegende ökonomische Problem durch das Auftreten von externen Kosten, besteht darin, dass Verkehrsteilnehmer nur die mit der Fahrt verbundenen internen Kosten für ihre Entscheidung berücksichtigen und nicht die externen Kosten die die Allgemeinheit zu tragen hat. Negative externe Effekte werden von vielen Verkehrsteilnehmern bei der Abwägung zwischen privaten (internen) Kosten und dem Nutzen der Straßenbenutzung außer Acht gelassen. Dadurch werden höhere gesellschaftliche Schäden verursacht, als gesellschaftlicher Nutzen erzeugt wird. Es resultiert ein Wohlfahrtsverlust. Abgesehen von der KFZ-Steuer werden die externen Effekte auf Dritte bzw. auf die Gesellschaft bisher nicht monetär berücksichtigt.

An dieser Problematik setzen die Gebührenerhebungen bzw. eine City-Maut an. Aus wohlfahrtsökonomischer Betrachtung ist eine Maut ein Instrument, das es ermöglicht die Straße den Nutzern so zur Verfügung zu stellen, dass die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt optimiert wird. Dies erfolgt in der Regel durch eine Erhebung einer Mautgebühr in Höhe der externen Grenzkosten. Dadurch werden die externen Effekte im Idealfall internalisiert, da die Verkehrsteilnehmer, die für die negativen Auswirkungen verantwortlich sind, auch für die externen Kosten aufkommen. Eine Gebührenerhebung nach solchen Grundsätzen kommt der sogenannten Pigou-Steuer gleich. Eine Festlegung einer Maut in Höhe der Differenz aus

¹³ Steining K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz S. 50

¹⁴ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. *Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München*, ifo Institut, München S. 15 f.

¹⁵ Tompson J. M., 1978: *Grundlagen der Verkehrspolitik*, Bern, Stuttgart S. 93 ff.

sozialen und privaten Grenzkosten im gesellschaftlichen Optimum schafft Anreize für eine effiziente Nutzung des Verkehrsraums. Eine effiziente Nutzung setzt eine Verkehrsmenge voraus, die in Bezug auf die gesellschaftlichen Grenzkosten und Grenznutzen optimal ist. Die Gebührenhöhe entspricht dabei den externen Effekten, die internalisiert werden sollen.

In der Theorie sollte die Höhe der City-Maut anhand der externen Kosten der PKW-Nutzung festgelegt werden. Nicht monetäre Kostenarten, wie Lärm-, Umwelt-, und Stauungskosten können nur mit aufwendigen Monetarisierungsverfahren bestimmt werden. Entscheidend ist auch welche Kostenarten der externen Kosten in die Bestimmung miteinfließen. Die genaue Abschätzung der gesamten externen Kosten gestaltet sich daher kompliziert und schwierig. Dies führt dazu, dass sich in vielen Studien unterschiedliche Ergebnisse zur Bestimmung der externen Kosten ergaben. Die konkrete Höhe der Gebühr hängt unter Berücksichtigung unterschiedlicher Ansätze von einer Vielzahl von Faktoren ab. Bei der Bestimmung der Mautpreishöhe sollten die Ziele, die durch eine City-Maut erreicht werden sollen, berücksichtigt werden. Die Festlegung einer Gebührenhöhe ist daher eine zentrale Aufgabe bei der Einführung einer City-Maut.^{16 17}

Durch die Erhebung einer Maut sollen also unter anderem die Überlastung von Straßen und die damit verbundenen Kosten für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt reduziert werden. Die Erstellung eines City-Maut Konzepts für Nürnberg basiert in dieser Arbeit auf der Zielsetzung der Verkehrsreduktion und einer damit verbunden Verbesserung der Verkehrsbedingungen. Für die Berechnung der Mautpreishöhe werden von den externen Kosten daher die Stauungskosten bzw. die Kosten der Allgemeinheit mit der steigenden Auslastung der Straßen berücksichtigt.

2.4 Berechnung des Mautpreises mittels Grenzkosten

Die Berechnung des Mautpreises erfolgt anhand einer Grenzkostenberechnung. Hintergrund dabei ist der wohlfahrtsökonomische Ansatz, die Straße anhand der City-Maut den Verkehrsteilnehmern so zur Verfügung zu stellen, dass eine gesamtgesellschaftliche Wohlfahrt erreicht wird. Das Wohlfahrtsoptimum stellt sich dann ein, wenn der Mautpreis bzw. die Kosten für die Verkehrsteilnehmer den Grenzkosten für die Straßenbenutzung entsprechen. Aus ökonomischer Sicht bedeuten überfüllte Straßen bzw. gestaute Verkehrsbedingungen Zeitverluste für alle anderen Verkehrsteilnehmer. Die Verkehrsteilnehmer verursachen negative externe Effekte aufeinander, die mithilfe der Gebühren für eine optimale Straßenauslastung kompensiert werden sollen.^{18 19}

Die externen Staugrenzkosten sind dementsprechend die relevante Ausgangsgröße für die Ableitung einer City-Maut Maßnahme, die als Ziel die Staureduzierung und eine effiziente

¹⁶ Steining K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz S. 50

¹⁷ Hagen T., Reining M. 2019. *Übersicht über mögliche ökonomische Auswirkungen von City-Mauts*, ReLUT - ResearchLab for Urban Transport, Frankfurt am Main S. 2 ff.

¹⁸ Steining K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz S. 50 f.

¹⁹ Hagen T., Reining M. 2019. *Übersicht über mögliche ökonomische Auswirkungen von City-Mauts*, ReLUT - ResearchLab for Urban Transport, Frankfurt am Main S. 3 ff.

Kapazitätsauslastung hat. Die externen Zeitkosten haben dabei den größten Anteil an den Staugrenzkosten. Zeitkosten sind, die durch ein zusätzliches Fahrzeug bedingten zusätzlichen Reisezeiten, multipliziert mit dem ökonomischen Zeitwert (Value of Time), den die betroffenen Verkehrsteilnehmer der Reisezeit beimessen. Hinzu kommen weitere externe Effekte wie beispielsweise zusätzlicher Kraftstoffverbrauch und die damit verbundenen Umweltkosten. Zur Minimierung der Staukosten ist der Zeitbedarf bzw. die Reisezeit auf einem bestimmten Streckenabschnitt in Abhängigkeit zu dessen Auslastung entscheidend. Zur Berechnung des Zeitbedarfs können die CR (Capacity Restraint) -Funktionen herangezogen werden. Diese skizzieren den Zusammenhang zwischen Fahr- und Wartezeiten in Abhängigkeit der Verkehrsstärke eines Streckenabschnittes. Geeignet für die Berechnung ist die Kapazitätsbeschränkungsfunktion des US-Bureaus of Public Roads (BPR-1-Funktion).

20 21

Die aktuelle Reisezeit t_{akt} für einen Streckenabschnitt im belasteten Zustand wird mit der BPR1-Funktion errechnet. Anhand der Formel für die aktuelle Reisezeit können die Durchschnittskosten AC (Average Costs) berechnet werden.²²

$$t_{akt} = t_0 \left[1 + \alpha \times \left(\frac{q}{C} \right)^\beta \right]$$

Die Kostenfunktion ergibt sich aus den Durchschnittskosten multipliziert mit der Nachfrage. Über die 1. Ableitung der Kostenfunktion werden die Grenzkosten MC (Marginal Costs) bestimmt.

$$t_{akt} = t_0 \left[1 + \alpha \times \left(\frac{q}{C} \right)^\beta \right] \times q$$

t_{akt}	Fahrtzeit auf einer Strecke im belasteten Zustand
t_0 :	Reisezeit bei freier Fahrt/VOT
q :	Verkehrsstärke, Streckenbelastung
C :	maximale Kapazität des Abschnittes pro Zeiteinheit
α, β :	optionale Anpassungsparameter

Für die Berechnung des Nürnberger Mautgebiets müssen die notwendigen Parameter festgelegt werden. Grundlage hierfür ist das DIVAN Teilnetzmodell, das ebenfalls zur Modellierung der City-Maut herangezogen wird. Das Verkehrsmodell stellt das aktuelle Streckennetz von Nürnberg und dessen Eigenschaften dar. Die notwendigen Daten zur Streckenkapazität und CR-Funktionen sind im Netzmodell hinterlegt. Mithilfe des Verkehrsmodells wurde die IV-Kenngröße t_0 für alle Beziehungen im Modell berechnet und anschließend nach den Beziehungen, auf denen eine Maut erhoben wird, gefiltert. Die durchschnittliche

²⁰ Nash, C., Shires, J., Link, H. 2010. Quantifizierung der sozialen Grenzkosten des Straßenverkehrs: welches sind die wichtigsten Komponenten?, Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung, ISSN 1861-1559, Duncker & Humblot, Berlin, Vol. 79, Iss. 2, pp. 13-38, S. 17

²¹ Schiller C. 2004. Integration des ruhenden Verkehrs in die Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfragemodellierung, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, ISSN 1432-5500 Heft 8/2004 S. 20

²² Ketzler M. 2008. Erfahrungen mit der City-Maut in Europa: Ökonomische Analyse und Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Städte am Beispiel Hamburg, Diplomarbeit, Universität Hamburg S. 28

Reisezeit im unbelasteten Zustand (t_0) für die Strecken im Mautgebiet beträgt demnach 6,58 Minuten. Die Kapazität C der Strecken in Nürnberg wird durch eine Mittelwertbildung aller Streckenkapazitäten, gewichtet nach der Streckenlänge und deren Anteil im Nürnberger Streckennetz, bestimmt. Es ergibt sich eine gemittelte Kapazität von 11.350 Fz/Stunde. Die Parameter α und β werden ebenfalls mit einer Mittelwertbildung in Abhängigkeit des Anteils der Streckenlänge im System bestimmt. Dabei wurden zum einen die Streckenlängen aufgelistet und zum anderen den Strecken zugeordnete CR-Funktionen des Mautbereichs hinsichtlich der Parameter α und β untersucht. Für α ergab sich gemittelt ein Wert von 0,77 und für β ein Wert von 5,69. Die genauen Berechnungen der einzelnen Parameter sind im elektronischen Anhang (vgl. Datei: 01) enthalten.

Tabelle 1: Ermittelte Parameter für die Grenzkostenberechnung²³

Parameter	Kapazität C	Reisezeit im unbelasteten Zustand t_0	Parameter α	Parameter β
Wert	11.350 Fz/h	6,58 min	0,77	5,69

Um eine fehlerhafte Vorgehensweise bei der Mittelwertbildung der Parameter α und β ausschließen zu können, wurde eine Abschätzung des Einflusses der Parameter anhand eines Modellsystems durchgeführt. Betrachtet wurde dabei die Reisegeschwindigkeit durch das System bzw. der Zeitbedarf alle Strecken zu überfahren. Das Modell untersucht ein System mit neun Strecken, die individuelle Parameter für die CR-Funktionen besitzen. Die CR-Funktionen berechnen analog der Durchschnittskostenberechnung den Zeitbedarf, der durch Stauung bei einer Verkehrsstärke von 1000 FZ/h entsteht. Die Geschwindigkeit im unbelasteten Zustand wurde mit 36 km/h angenommen. Die berechneten Zeitaufschläge werden auf den Zeitbedarf bei der Geschwindigkeit im unbelasteten Zustand aufaddiert. Daraus ergibt sich ein Zeitbedarf und eine Geschwindigkeit im belasteten Zustand. Durch unabhängige Änderungen der einzelnen Parameter α und β wurde deren Einfluss auf die Geschwindigkeit und Zeitbedarf überprüft. Es ergaben sich Abweichungen von unter einem Prozent. Eine Variation/Unsicherheit bei diesen Parametern hat daher auf die Reisegeschwindigkeit und den Zeitbedarf nur sehr geringe Auswirkungen. Bei Änderungen der Streckenlänge kommt es zu größeren Abweichungen der Reisegeschwindigkeit bzw. des Zeitbedarfs. Aus diesem Grund wurde die Mittelwertbildung der Parameter α und β nach dem Anteil der Streckenlänge im System gewichtet (vgl. Datei 01).

Die berechneten Parameter werden in die Formeln für die Durchschnittskosten bzw. Grenzkosten eingesetzt. Für q wird eine in 1000er-Schritten zunehmende Verkehrsstärke im Netz angesetzt. Die berechneten Wertereihen sind in Tabelle 2 dargestellt.

²³ Quelle: eigene Tabelle

Kosten des Verkehrs

Tabelle 2: Berechnung der Durchschnitts- und Grenzkosten²⁴

Verkehrsstärke [Fz/h]	AC/Zeitbedarf [min]	MC/Grenzkosten [min]
0	6,58	6,58
1000	6,58	6,58
2000	6,59	6,59
3000	6,59	6,60
4000	6,60	6,67
5000	6,63	6,91
6000	6,72	7,49
7000	6,91	8,76
8000	7,28	11,24
9000	7,94	15,68
10000	9,06	23,15
11000	10,84	35,08
12000	13,57	53,34
13000	17,61	80,32
14000	23,39	119,01

Zur Abbildung der MIV-Nachfrage im Nürnberger Verkehrsnetz wird die EVA1-Bewertungsfunktion herangezogen.

$$f_B(w) = (1 + w)^{-\varphi(w)}$$

Mit der Unterfunktion:

$$\varphi(w) = \frac{E}{1 + e^{F-G \times A}}$$

²⁴ Quelle: eigene Tabelle

Für die Bestimmung der MIV-Nachfrage werden folgende Parameter angenommen:

Tabelle 3: Parameter für EVA-1-Funktion²⁵

Parameter E	Parameter F	Parameter G
1,3	9	0,12

In Abbildung 4 wird die Bewertungswahrscheinlichkeit der EVA1-Funktion dargestellt, diese entspricht der Nachfrage im Nürnberger Verkehrsnetz. Unter der Annahme das die zunehmende Verkehrsstärke q , dem zunehmenden Widerstand der Reisezeit entspricht.

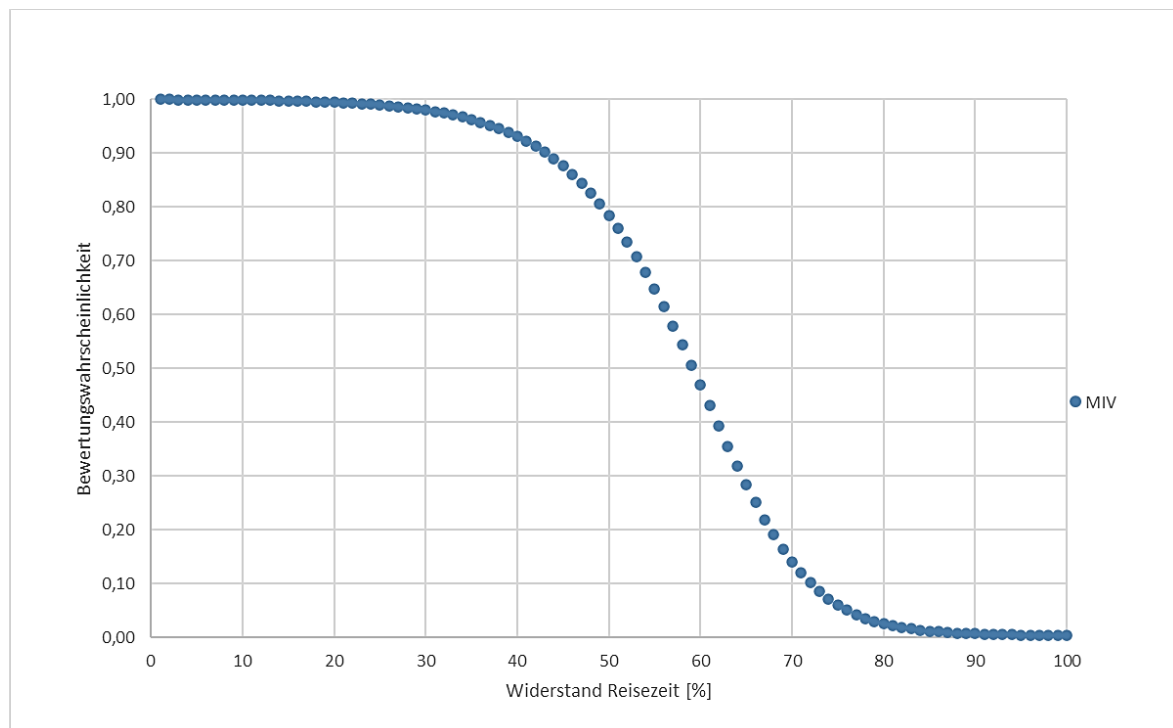


Abbildung 4: Bewertungswahrscheinlichkeit der EVA1-Funktion²⁶

Die ermittelten Werte werden in Graphen dargestellt, anhand deren die Ermittlung des Zeitaufschlags dann mittels einer graphischen Lösung erfolgt. Abbildung 5 beschreibt modelltheoretisch die Ermittlung der optimalen Mautgebühr unter Berücksichtigung der Durchschnittskosten (interne Kosten), der Grenzkosten (externe Kosten) und dem Grenzerlös (Verkehrsnachfrage) für die Straßenbenutzung. Auf der y-Achse werden der Zeitaufwand bzw. die Kosten der Straßennutzung dargestellt. Die x-Achse spiegelt das Verkehrsaufkommen bzw. die Verkehrsstärke im betrachteten System wider. Die Nachfragekurve der EVA1-Bewertungsfunktion kann mit der Grenzerlöskurve MR (marginal revenue) gleichgesetzt werden. Diese beschreibt die Verkehrsnachfrage in Abhängigkeit der Zeitkosten. Je höher die Kosten für eine Fahrt, desto niedriger ist die Verkehrsnachfrage. Mit jedem zusätzlichen Verkehrsteilnehmer steigen die Mobilitätskosten (Zeitkosten), da dieser eine Verlängerung

²⁵ Quelle: eigene Tabelle

²⁶ Quelle: eigene Abbildung

der Reisezeit im System bedingt. Zum einen steigen dadurch die individuellen Kosten (Zeitbedarf und laufende Kosten) und zum anderen auch die Grenzkosten (Staugrenzkosten) für die Allgemeinheit. Die Grenzkosten steigen dabei stärker als die internen Kosten. Bei der Entscheidung eines potenziellen Verkehrsteilnehmers werden nur die internen Kosten AC und der individuelle Grenznutzen MR berücksichtigt. Die höheren Grenzkosten MC verursacht durch die eigene Entscheidung werden nicht beachtet. Die Kosten für Nutzer sind daher zu gering, um ihr Verhalten so zu beeinflussen um volkswirtschaftlich optimal zu handeln. Aus volkswirtschaftlicher Perspektive resultiert dadurch eine ineffiziente Straßenraumnutzung J mit der Gleichgewichtsmenge q_j und den Kosten c_j . Bei Betrachtung der externen Kosten stellt sich das Grenzkosten-Gleichgewicht F, Schnittpunkt der Nachfrage mit MC, bei deutlich höheren Zeitkosten c_f , den volkswirtschaftlichen Gesamtkosten, und einer Verkehrsnachfrage q_f ein. An diesem Punkt ist das volkswirtschaftliche Optimum. Ziel für die Gesellschaft ist das wohlfahrtsoptimale Gleichgewichts-Optimum G. Der volkswirtschaftliche Zeitgewinn ist in diesem Punkt maximal. Dies wird durch einen Zeitaufschlag in Höhe von c_{maut} erreicht, da durch die höheren Kosten eine optimale Auslastung des Verkehrsraumes mit der optimalen Verkehrsmenge q_{opt} generiert wird. Die Kosten für jedes zusätzliche Fahrzeug werden durch die Maut auf die Kosten des Grenzkosten-Gleichgewichts c_f erhöht. Die Differenz auf der y-Achse zwischen c_f und c_{opt} ist die Zeitdifferenz, die in Form der Mautgebühren abgegolten werden muss, um den volkswirtschaftlich optimalen Zustand zu erreichen. Der Zeitaufschlag (c_{maut}) für Nürnberg beträgt auf Grundlage der graphischen Lösung 9 Minuten. Die Berechnung der Mautgebühr erfolgt durch die Multiplikation des bestimmten Zeitaufschlags mit dem in Kapitel 3.5.3 ermittelten VOT. Die Mautgebühr für eine Fahrt im Mautgebiet in Nürnberg beträgt demnach 0,94 Euro.

$$c_{\text{Maut}} \times \frac{VOT}{60 \text{ min}} = 9 \text{ Minuten} \times \frac{6,25 \text{ €}}{60 \text{ Minuten}} = 0,94 \text{ €}$$

Kosten des Verkehrs

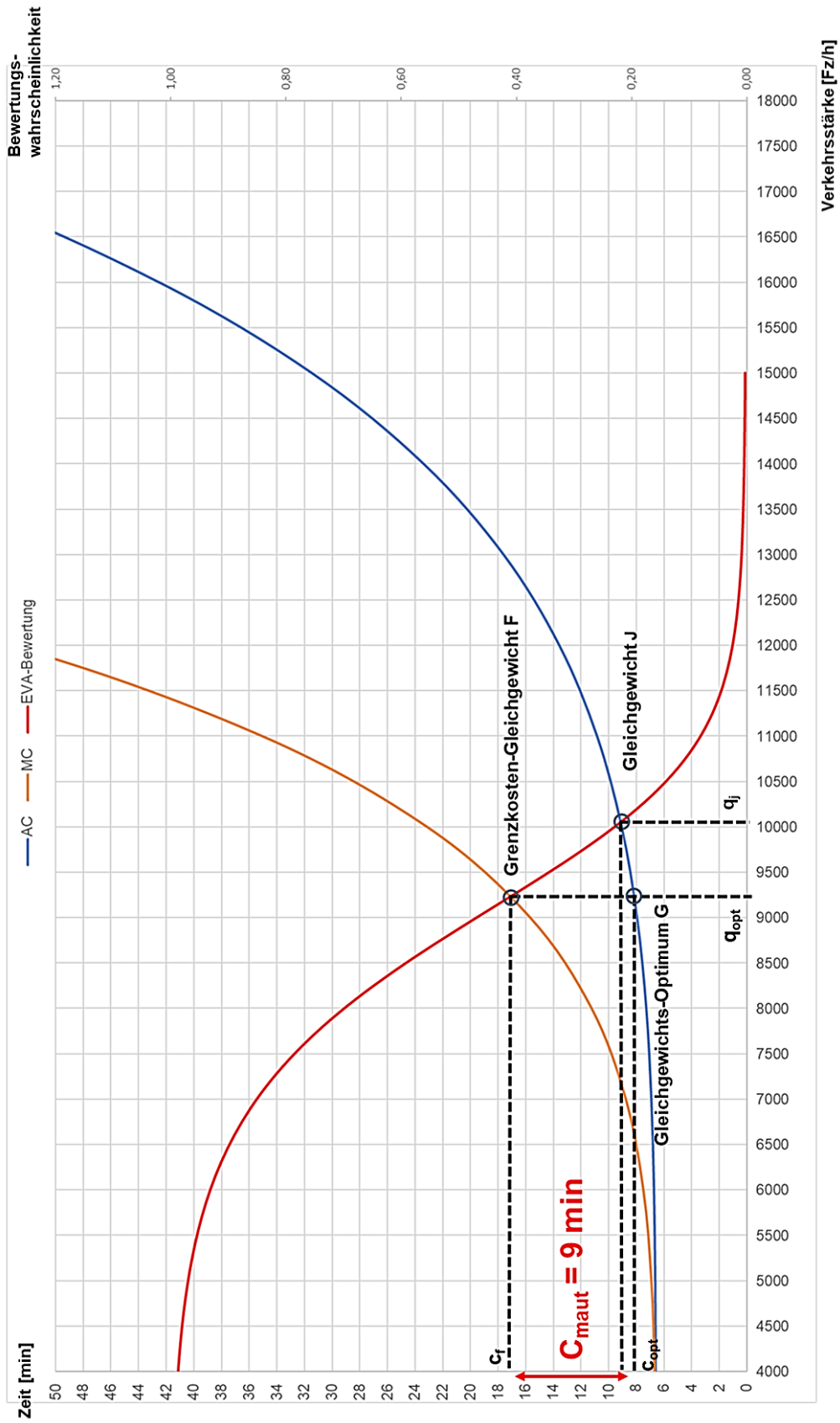


Abbildung 5: Ermittlung der Mautkosten als Zeitaufschlag²⁷

²⁷ Quelle: eigene Abbildung

3. Value of Time

Die Reisezeit bildet die Grundlage für Entscheidungen in einem Verkehrssystem, sie beeinflusst die Zielwahl, die Verkehrsmittelwahl und die Routenwahl. Das bedeutet, dass die Reisezeit im Grunde die Verkehrsnachfrage auf den jeweiligen Strecken im System bestimmt. Es ist anzunehmen, dass sich die Entscheidungsträger im System immer für die Variante mit der kürzesten Reisezeit entscheiden, um ihrem Ortsveränderungszweck nachzukommen. Auch für die Untersuchung der Auswirkungen einer City-Maut ist die Betrachtung der Reisezeit essenziell, da der jeweilige Preis den Reisezeit-Widerstand im System beeinflusst und somit die Dauer der Reise fiktiv verlängert.

Da die Zeit selbst keinen direkten Wert hat, wurden viele Studien zur Ermittlung des VOT durchgeführt, um einen Wert der Zeit zu bestimmen. Dazu gibt es Einflussgrößen, wie bspw. das Einkommen, die den Wert der Zeit beeinflussen. Welchen monetären Wert die Zeit an sich haben kann und wie der Wert gemessen bzw. ermittelt werden kann, soll im Folgendem erläutert werden. Zusätzlich werden auch die Größen, die den Wert der Zeit beeinflussen erläutert und sofern möglich wird auch ihr spezifischer Einfluss mit Zahlen bzw. Faktoren quantifiziert.

Der VOT ist eine dominante Größe dieser Arbeit, da er die Ergebnisse der Arbeit maßgeblich beeinflusst. Sie liegt zum einen der Bestimmung des Mautpreises zugrunde und wird auch in der Modellierung der Routenwahl angewandt. Bei der Mautpreisberechnung wird der ermittelte Zeitaufschlag mittels des VOT in einen monetären Betrag umgerechnet. Der Mautpreis ist mit die wichtigste Bemessungsgrundlagen einer City-Maut. Der VOT hat im Zuge der Mautmodellierung auch Einfluss auf die Routenwahl. Er wird als Bewertungsgröße der Mautgebühren im Tribute-Verfahren herangezogen und definiert somit die Widerstände auf den einzelnen mit der Maut belasteten Routen. Das Ergebnis der Streckenbelastung, die Reisegeschwindigkeit, die Auslastung und die IV Belastung sind daher vom VOT beeinflusst.

3.1 Definition VOT

Ein entscheidender Parameter bei der Prognose der Verkehrsnachfrage in Netzwerken mit „Road Pricing“ bzw. einer City-Maut ist der angenommene Wert der Zeit, der sogenannte Value of Time. Der VOT bestimmt das Ausmaß, in dem die Fahrer bereit sind, Umwege zu fahren, um eine Gebühr zu vermeiden. Es gibt eine Vielzahl von Definitionen und Auslegungen des Begriffs „Value of Time“. Die wortgetreue Auslegung ist die kompensierende Variante. Diese sagt aus, dass der VOT dem Wert der Einsparung einer bestimmten Menge und Art von Reisezeit durch eine bestimmte Person entspricht, den diese Person nach Erhalt der Ersparnisse zahlen könnte. Der Betrag, geteilt durch die Zeitersparnis, ist der durchschnittliche Wert der Zeit, den diese Person dafür gespart hat.²⁸

²⁸ Small K., Verhoef E., 2007 *The Economics of Urban Transportation*, Routledge, New York, Abington S. 45

Eine gängigere Definition des VOT, bei der die Reisezeit im Fokus steht, besagt, dass sich der Wert der Reisezeit (Value of Travel Time (VTT)) auf die Kosten der für den Transport aufgewendeten Zeit bezieht. Der Wert der Reisezeitersparnis (Value of Travel Time Savings (VTTS)) beschreibt die Vorteile einer schnelleren und zeitsparenden Reise.²⁹

Die Begriffe VOT, VTT und VTTS können im Bereich des Verkehrswesens auch synonym verwendet werden. Der Wert der Reisezeit stellt hauptsächlich den Wert von Reisezeitverkürzungen dar. Der Wert wird in diesem Zusammenhang nicht nur als der Wert der Reisezeit im allgemeinen Sinne gesehen, sondern auch als der Wert der Veränderungen der Reisezeit im Verhältnis zu einer alternativen Nutzung dieser Zeit.³⁰

In dieser Arbeit wird der VOT-Begriff ausschließlich in Bezug auf Ortsveränderungen bzw. im verkehrlichen Kontext betrachtet. Dabei bezieht sich der VOT hauptsächlich auf den motorisierten Individualverkehr sowie den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Die Werte sind Durchschnittswerte einer Bevölkerung bzw. einer Stichprobe. Die VOT einzelner Personen können untereinander stark variieren und von den allgemein ermittelten VOT-Werten abweichen.

3.2 Bestimmung VOT für Deutschland

Jeder Person ist die Zeit unterschiedlich viel wert, der Wert variiert auch bei einer Person zu verschiedenen Zeitpunkten. Einflussfaktoren werden verschieden bewertet und auch in ihrer Gewichtung differenziert. Es gibt eine große Anzahl an Studien, die die Bestimmung des VOT als Ziel haben. Als Ermittlungsgrundlage dient dabei meist die Methode der Befragung, bei der die Probanden Angaben zu ihren Verkehrsverhalten bzw. ihren Entscheidungen bei der Routenwahl angeben. Der Aufbau und die verwendeten Szenarien bei der Befragung können je nach Studienhintergrund variieren. Im Folgenden wird die Studie „Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung“, die als Grundlage für den Bundesverkehrswegeplan (BVWP) dient, vorgestellt. Die Empfehlungen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zu Entscheidungen in der Verkehrsplanung basieren auf dieser Studie. Ebenso werden weitere Forschungen in anderen Ländern betrachtet. Dadurch werden auch internationale Erkenntnisse bei der Ermittlung des VOT mitberücksichtigt.

Im Rahmen einer vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur beauftragten Studie wurden Bewertungsansätze zur Monetarisierung von Reisezeiten ermittelt. Diese Studie dient als Grundlage für die Erstellung des BVWP 2030. Für die Studie wurde ein zweistufiger Ansatz, der Revealed Preference (RP) Daten³¹ und Stated Choice (SC) Befragungen³² kombiniert, angewandt. Dadurch lassen sich die Vorteile beider Methoden

²⁹ Litman, T., 2020. *Transportation Cost and Benefit Analysis II – Travel Time Costs*, Victoria Transport Policy Institute S. 5.2-2

³⁰ ITF (2019), *What is the Value of Saving Travel Time?*, ITF Roundtable Reports, No. 176, OECD Publishing, Paris. S. 13

³¹ Daten zu Konsumentenentscheidungen ausgehend von beobachtbaren bzw. beobachteten Entscheidungen

³² Entscheidung zwischen mehreren vorgegebenen Alternativen (Ausprägung: z.B. Fahrzeit, Kosten)

nutzen. Neben den Befragungen bildet ein Verkehrsmittelwahlmodell zudem die Grundlage für die Ermittlung der Werte. Bei der Untersuchung wurde eine repräsentative Bevölkerungsstichprobe von Deutschland befragt. RP-Daten werden dabei durch Beobachtung oder Befragung von Entscheidungen, die auf realen Bedingungen basieren, ermittelt. Beschränkungen durch Umwelt und Technologie sowie individuelle Sachzwänge, wie z.B. das Einkommen, werden bei den getroffenen Entscheidungen somit berücksichtigt. Darauf aufbauend werden im zweiten Schritt die SC-Befragungen durchgeführt. Die Befragung hatte die Analyse des Entscheidungsverhaltens bei der Verkehrsmittel- und Routenwahl der Probanden als Ziel. Die Befragten treffen eine Entscheidung zwischen mehreren vorgegebenen Alternativen, welche mit verschiedenen Ausprägungen wie beispielsweise der Fahrzeit und den Kosten beschrieben sind. Insgesamt wurden fünf verschiedene Szenarien abgefragt, um auch Bewertungsansätze für lang- und kurzfristige Zeitwerte zu ermitteln. Aus den Resultaten können dann anhand der diskreten Entscheidungsmodelle Wirkungszusammenhänge analysiert werden. Die Höhe des jeweiligen Einflusses einer Variablen auf die Entscheidung kann ebenfalls bestimmt werden. Dadurch lassen sich Werte der Monetarisierung veränderter Reisezeit aus dem Verhältnis der Einflussgrößen Reisezeit und Kosten der Reise ableiten. Die Resultate der Studie für die Bewertungsansätze sind differenziert nach unterschiedlichen Verkehrsmitteln und Wegezwecken dargestellt. Es handelt sich dabei ausschließlich um die Zahlungsbereitschaft von Straßenbenutzern für Reisezeitgewinne bzw. Zeitersparnisse.³³

- Berechnung / Ermittlung VOT

Auf Grundlage der durchgeführten Befragung kann der VOT anhand von Nutzenfunktionen berechnet werden. Bei linearen Nutzenfunktionen berechnet sich der VOT eines Verkehrsmittels aus dem Verhältnis der Fahrzeit und den Kostenparametern. Im nichtlinearen Nutzenmodell ergibt sich der VOT aus dem Verhältnis der partiellen Ableitungen des Nutzens nach der Fahrzeit und den Kosten.

$$VOT = \frac{\delta U / \delta \text{Fahrzeit}}{\delta U / \delta \text{Kosten}}$$

$$\frac{\delta U}{\delta x} = \left(\beta + \frac{\alpha}{x + y} \right) \times \left(\frac{\text{Einkommen}}{\mu(\text{Einkommen})} \right)^{\lambda \text{Einkommen}}$$

Folgende Parameter fließen in die Berechnung des VOT mit ein:

U_i :	Nutzenfunktion
$x_{i,j}$:	betrachtete Attribute (Fahrzeit oder Kosten)
(β, α, γ) :	geschätzte Parameter des betrachteten Attributs
$\lambda \text{ Einkommen}$:	geschätzte Elastizität der Interaktion des betrachteten Attributs mit dem Einkommen
$\mu(\text{Einkommen})$:	mittleres Einkommen

³³ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 2 ff.

In Tabelle 4 können die berechneten Zeitwerte für den MIV und den ÖV abgelesen werden. Bei den Zeitwerten handelt es sich um die Empfehlungswerte der durchgeführten Studie. Sie basieren auf nicht-linearen Nutzenfunktionen. Die verschiedenen Zeitwerte für die Zeiterparnis können abhängig von Verkehrsmittel und vom Verkehrszweck variieren. Der VOT für eine Stunde Reisezeitersparnis mit dem MIV im Freizeitverkehr beträgt 4,03 €, mit dem ÖV 4,35 €. Bei dem Verkehrszweck „gewerblicher Weg“ beträgt der VOT im MIV 8,38 €/h und im ÖV 7,01 €/h. Der Durchschnittliche Zeitwert (Zeile „Alle“) für eine Stunde Zeiterparnis beträgt im MIV 4,66 € und im ÖV 4,83 €. Für alle Verkehrsmodi und Fahrtzwecke wurde ein VOT von 4,83€/h ermittelt. Diese Werte können bei Modellberechnungen mit der jeweiligen Differenzierung bzw. Klassifizierung herangezogen werden.³⁴

Tabelle 4: Zeitwerte für ÖV und MIV in €/h³⁵

Fahrtzweck	Verkehrsmittel ÖV	Verkehrsmittel MIV	Alle
Ausbildung	4,39	3,90	4,26
Arbeit	4,47	4,87	4,80
Einkauf	5,11	4,29	4,62
Freizeit	4,35	4,03	4,35
Gewerblicher Weg	7,01	8,38	8,50
Arbeit + Ausbildung	4,46	4,73	4,72
Nicht-gewerblich gesamt	4,66	4,32	4,56
Alle	4,83	4,66	4,83

3.3 Europäische VOT-Studien

In verschiedenen europäischen Ländern wurden Studien zur Ermittlung des VOTs durchgeführt. Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse und Erfahrungen weiterer Studien als Vergleichsstudien vorgestellt.

³⁴ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 76 f.

³⁵ Quelle: eigene Tabelle nach Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 77

3.3.1 Stockholm

Die Ermittlung des VOT ist auch Ziel der Studie von Börjesson, Lavender, und Eliasson, die im Zuge der Einführung einer City-Maut in Stockholm durchgeführt wurde. Der sogenannte Stockholmer Versuch bestand aus zwei Teilen. Aus dem Mautsystem, das vom 3. Januar bis zu dem 31. Juli 2006 implementiert wurde und aus einer Erweiterung des öffentlichen Verkehrsangebots (31. August 2005 - 31. Dezember 2006). Das Mautsystem bestand aus einem Kordon um die Innenstadt von Stockholm mit zeitlich gestaffelten Gebühren. Es gibt keine anderen Brücken, die den Süden und Norden Stockholms verbinden mit Ausnahme der Umgehungsstraße von Essinge und den vier Brücken im Stadtzentrum, die innerhalb des Kordons und somit innerhalb der Maut-Zone liegen.

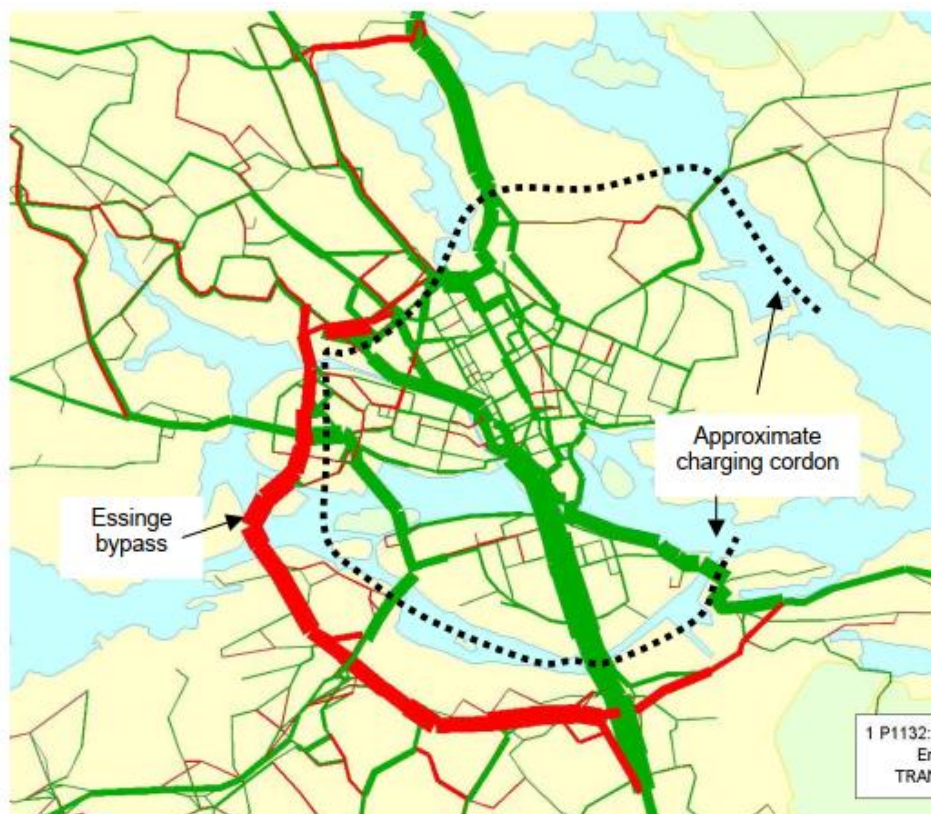


Abbildung 6: Verkehrsbelastung im Mautgebiet und auf der Umfahrroute ³⁶

Während des Stockholmer Staugebührenversuchs hatten Autofahrer zwischen dem nördlichen und dem südlichen Teil Stockholms die Wahl, durch den gebührenpflichtigen Bereich fahren oder ihn zu umfahren, indem sie die gebührenfreie, aber stark belastete Umfahrung, den Essinge Bypass, nutzen. Es wurden zwei Reiseumfragen durchgeführt, eine vor Einführung der Maut (im September 2004) und eine nach Einführung der Maut (im März 2006), bei denen die Befragten für entsprechende Fahrten notierten, ob sie die Umgehungsstraße genutzt haben oder nicht. Dies gibt die Möglichkeit, den impliziten Wert der Zeit für Autofahrer abzuschätzen, wenn sie vor der Wahl stehen zwischen einer kürzeren, mautpflichtigen und einer längeren, kostenlosen Strecke. Auf diese Weise wurde der Zeitwert für die

³⁶ Quelle: Börjesson M. et. Al. 2007. THE VALUE OF TIME OF CAR DRIVERS CHOOSING ROUTE: EVIDENCE FROM THE STOCKHOLM CONGESTION CHARGING TRIAL, Association for European Transport and contributors 2007 S. 7

Fahrer zwischen dem nördlichen Teil des Stockholmer Bezirks und dem südlichen Teil ermittelt. Das Datenmaterial besteht aus 2.274 Fahrten, es handelte sich dabei um rein private Fahrten. 20-30% des Verkehrsaufkommens ist Distributionsverkehr, der nicht in der Erhebung enthalten ist.³⁷

Tabelle 5: Vergleich von gebührenpflichtigen und nicht gebührenpflichtigen Fahrten³⁸

	Work trips		Other trips	
	Non-charged choice situation	Charged choice situation	Non-charged choice situation	Charged choice situation
Through the city centre	331 43 %	69 21 %	625 53 %	82 22 %
Essinge bypass	426 56 %	253 78 %	522 44 %	281 76 %

Tabelle 5 vergleicht die Routenwahl von gebührenpflichtigen und nicht gebührenpflichtigen Fahrten vor und nach der Einführung der Maut. Es zeigt, dass für die Fahrten, die nicht gebührenpflichtig gewesen wären, 43 Prozent der Arbeitsfahrten und 53 Prozent der anderen Fahrten durch das Stadtzentrum führten. Dies kann mit den Fahrten verglichen werden, bei denen die Gebühr mit Einführung der Maut greifen würde. Die entsprechenden Anteile fallen auf 21 Prozent und 22 Prozent bei Erhebung der Maut. Mit anderen Worten: Etwa die Hälfte des (verbleibenden) Durchgangsverkehrs im Stadtzentrum wurde auf die Umgehungsstraße von Essinge verlagert. Die Erhebung einer Maut hat im Stockholm somit einen deutlichen Einfluss auf die Routenwahl der Entscheidungsträger im Verkehrssystem. Zu beachten ist auch, dass sich ein Teil des Durchgangsverkehrs auf andere Ziele oder Verkehrsträger verteilte, sobald die Gebühr erhoben wurde.

Die Reisezeiten wurden mit einem statischen Netzgleichgewichtsmodell ermittelt. Das folgende Diagramm in Abbildung 7 zeigt den Zeitverlust (in Minuten), bei der Wahl der Umgehungsstraße von Essinge, anstatt durch das Stadtzentrum zu fahren. Offensichtlich ist die Umgehungsstraße für viele Fahrten die schnellere Alternative (im Diagramm als negative Zahl). Mit der Maut sanken die Reisezeiten durch das Stadtzentrum deutlich, während die Fahrtzeiten auf der Umgehungsstraße von Essinge etwas zunahm. Das Diagramm zeigt, wie sich die Unterschiede in den Reisezeiten durch die Gebühren verändert haben. Die Reisezeitensparnisse bei der Umfahrung wurden mit Einführung der Maut deutlich geringer, da mehr Fahrten über die Umgehungsstraße stattfanden und dies dort zu einem dichteren Verkehrsaufkommen führte.

³⁷ Börjesson M. et. Al. 2007. THE VALUE OF TIME OF CAR DRIVERS CHOOSING ROUTE: EVIDENCE FROM THE STOCKHOLM CONGESTION CHARGING TRIAL, Association for European Transport and contributors 2007 s. 6 f.

³⁸ Quelle: Börjesson M. et. Al. 2007. THE VALUE OF TIME OF CAR DRIVERS CHOOSING ROUTE: EVIDENCE FROM THE STOCKHOLM CONGESTION CHARGING TRIAL, Association for European Transport and contributors 2007 S. 8

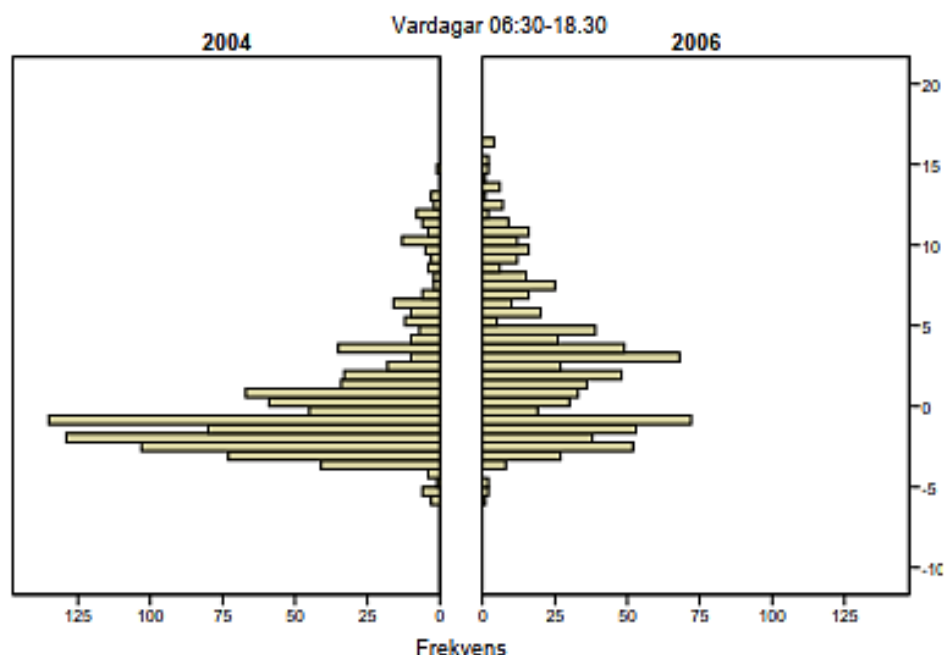


Abbildung 7: Differenzen in der Reisezeit zwischen Essinge Bypass und Stadtzentrum ³⁹

10 Schwedische Kronen (SEK) entsprachen zum Studienzeitpunkt 1,11 Euro. Die Schätzergebnisse in dieser Studie können auf zwei Arten interpretiert werden, je nachdem, ob die Gebühren (zum Nennwert) oder die durchschnittlichen Grenzkosten des Fahrens als das relevante Maß für die Reisekosten verwendet werden. Relativ zu den Gebühren wurden Zeitwerte von 174 kr/h für Arbeitsfahrten und 190 kr/h für andere Fahrten, und Entfernungswerte von 2,19 kr/km für Arbeitsfahrten und 2,40 kr/km für andere Fahrten ermittelt. Werden Zeit- und Mautkosten zu den durchschnittlichen Grenzkosten der Fahrt in Beziehung gesetzt, resultieren Zeitwerte von 127 kr/km sowohl für Arbeitsfahrten als auch für andere Fahrten. Dies bedeutet, dass die Ausgaben für die Maut nur 70 Prozent der Fahrkosten wert sind. Eine andere Interpretation der Ergebnisse ist, dass 30 Prozent der Reisenden in dieser Gruppe die Gebühren nicht selbst bezahlt haben, sondern die Kosten von ihrem Arbeitgeber getragen wurden. Bei jeder der beiden Interpretationen scheint das tatsächliche Verhalten der Fahrer deutlich höhere Zeitwerte für private Pkw zu implizieren, als sie typischerweise in Verkehrszuweisungsmodellen verwendet werden, die in der Regel aus Studien über erklärte Präferenzen oder Verkehrsmittel-/Zielwahlmodellen stammen. Dies könnte erklären, dass die Verkehrsumleitung auf die Umgehungsstraße um Stockholm geringer ausfiel als prognostiziert. Die Werte für Entfernung und Reisezeit wurden mit dem Parameter für die Reisezeit und dem Parameter für die Entfernung durch den Parameter für die Staugebühr dividiert. Das heißt, dass die Mautkosten die geeignete "Währung" für die Kosten sind. Eine alternative Interpretation der Ergebnisse entsteht bei der Annahme, dass die durchschnittlichen Grenzkosten angemessene "Währung" sind, d.h. der Parameter für Reisezeit wird durch den Parameter für die Entfernung, dividiert durch die durchschnittlichen Grenzkosten, dividiert (1,6 kr/km oder 0,18 €/km). Daraus ergibt sich ein Wert für die Zeit von 127 kr/h (14 €/h) sowohl für Arbeits- als auch für sonstige Fahrten. Der

³⁹ Quelle: Börjesson M. et. Al. 2007. THE VALUE OF TIME OF CAR DRIVERS CHOOSING ROUTE: EVIDENCE FROM THE STOCKHOLM CONGESTION CHARGING TRIAL, Association for European Transport and contributors 2007 S. 9

"Wert" der Gebühren, sinkt dagegen auf etwa 0,70 SEK pro "Gebühren-SEK" - d.h., das für Staugebühren ausgegebene Geld ist nur etwas weniger als drei Viertel seines Nennwertes "wert". Folgt man dieser Interpretation, wäre dies ein überraschendes Ergebnis. Man hätte eher das Gegenteil erwartet, nämlich, dass das Geld für Staugebühren aufgrund der höheren "Sichtbarkeit" der Kosten und des zusätzlichen Aufwands, die Kosten im Nachhinein zu bezahlen mehr "wert" ist als normale Ausgaben. Keine dieser Interpretationen berücksichtigt die Auswirkungen einer Absetzung der Mautkosten.⁴⁰

Die vorliegende Studie befasst sich nur mit Privatfahrten (also nicht mit Verteilerverkehr etc.), und mit einer speziellen Stichprobe: Fahrer zwischen dem nördlichen und südlichen Teil des Landkreises Stockholm. Dies ist eine relativ wohlhabende Stichprobe, und die Reisezeiten und -entfernungen sind im Vergleich zu durchschnittlichen Arbeitswegen relativ lang. Diese Zeitwerte sind höher als die, die als die, die typischerweise in Studien zur erklärten Präferenz oder in Modellen zur Verkehrsmittel-/Zielwahl geschätzt wurden. Der Unterschied kann jedoch evtl. durch ein höheres Einkommen, die Anwesenheit von Mitfahrern im Auto und/oder starke Straßenüberlastung erklärt werden. Es sind höhere Kosten damit verbunden in Stausituationen zu fahren als der reine Anstieg der durchschnittlichen Reisezeit. Ein Grund dafür ist, dass die Variabilität der Reisezeit mit Staus zunimmt und daher ein Bedarf an zusätzlichen Sicherheitsmargen und ein erhöhtes Risiko von Verspätungen entsteht. Weitere Gründe können auch die Nachteile, die ein Start-Stop-Verkehr mit sich bringt, sein. Anzuführen sind hier bspw. die laufenden Kosten für den Betrieb eines Fahrzeugs.⁴¹

3.3.2 VOT Report Île-de-France

Zusätzlich zu den Studien aus Stockholm/Schweden soll noch ein weiterer Wert in die Normierung des VOT miteinfließen, um eine breitere wissenschaftliche Basis zu erlangen. Im Rahmen einer allgemeinen Überprüfung der Kosten-Nutzen-Analyse von der französischen Regierung bzw. dem Generalkommissariat für Strategie und Vorausschau ist eine Studie („Value of Time estimations in Cost Benefit Analysis: the French experience“) zum französischem VOT in Auftrag gegeben worden. Die Referenzwerte für die Bewertung der Reisezeit wurden zudem mit den neuesten Studien in Frankreich und im Ausland abgeglichen. Es handelt sich bei der Studie (Metastudie) um eine Synthese, die sich aus bestehenden Studien und weiteren Forschungsergebnissen zusammensetzt. Das Ergebnis dieser Studie liefert Referenzwerte und Empfehlungen von VOT-Zeitwerten für Frankreich bzw. die Region Île-de-France. Die Werte sind nach innerstädtischem Verkehr, Überlandverkehr, Entfernung, Verkehrsträger und Verkehrszweck aufgelistet. Die Werte für innerstädtischem Verkehr sind differenziert nach Fahrtzweck in Tabelle 6 dargestellt. Die VOT-Werte sind Durchschnittswerte für alle Verkehrsmodi, im innerstädtischen Bereich umfassen diese alle Verkehrsmittel des MIV und ÖV. Für alle Verkehrszwecke lässt sich ein gemittelter VOT von 13,58 € pro Stunde $((22,3€+12,6€+8,7€+10,7€)) / 4 = 13,575€$ für den Bereich Île-de-

⁴⁰ Börjesson M. et. Al. 2007. THE VALUE OF TIME OF CAR DRIVERS CHOOSING ROUTE: EVIDENCE FROM THE STOCKHOLM CONGESTION CHARGING TRIAL, Association for European Transport and contributors 2007 S. 10

⁴¹ Börjesson M. et. Al. 2007. THE VALUE OF TIME OF CAR DRIVERS CHOOSING ROUTE: EVIDENCE FROM THE STOCKHOLM CONGESTION CHARGING TRIAL, Association for European Transport and contributors 2007 S. 10 ff.

France berechnen. Für Frankreich wurde ein gemittelter VOT von 10,55€ ermittelt, der alle Fahrtzwecke umfasst von $((17,5€+10€+6,8€+7,9€) / 4 = 10,55€)$.⁴²

Tabelle 6: VOT für innerstädtischen Verkehr in Frankreich⁴³

Städtischer VOT nach Fahrtzweck	französische Werte	Île-de-France Werte
Geschäftlich	17,5	22,3
Arbeit, Ausbildung, Kinderbetreuung	10	12,6
Sonstige (Einkauf, Freizeit, etc.)	6,8	8,7
Kein Grund angegeben	7,9	10,7
Gesamt	10,55	13,575

3.4 Kriterien für den Zeitwert bzw. für die Zeitempfindlichkeit

Die Zeitempfindlichkeit einer Person ist grundlegend für die Bestimmung des VOT. Sie hängt von verschiedenen Faktoren und Rahmenbedingungen ab. Je nachdem in welchem Szenario oder Situation sich die jeweilige Person befindet, kann der Zeit zugesprochener Wert stark variieren. So kann der Wert der Zeit von vielen Aspekten des Reisenden und der Reise selbst geprägt werden. Der VOT hängt unter anderem vom Einkommen, dem Reisezweck, den demographischen und sozioökonomischen Merkmalen, den Verkehrsbedingungen, den verfügbaren physischen oder psychischen Annehmlichkeiten während der Reise, vom Verkehrsmittel, den Merkmalen der Reise und der Distanz der Reise ab.^{44 45}

3.4.1 Einkommen

Einer der entscheidenden Einflussfaktoren auf den VOT ist das Einkommen der jeweiligen Person. Bei der in Deutschland durchgeführten Studie wurde unter anderem auch das Haushaltseinkommen abgefragt. Bei der Auswertung der Befragungen hat sich eine Einflussnahme des Haushaltseinkommens auf den VOT gezeigt. Die Zahlungsbereitschaft für Reisezeitverkürzungen nehmen mit steigendem Einkommen zu. Bei einer differenzierten Bewertung nach Einkommensklassen muss der Faktor bei der Zeitwertberechnung berücksichtigt werden.

⁴² Meunier D., Quinet E. 2014. Value of Time estimations in Cost Benefit Analysis: the French experience, *Transportation Research Procedia* 8 (2015) 62 – 71 S: 63 f.

⁴³ Quelle: eigene Tabelle nach Meunier D., Quinet E. 2014. Value of Time estimations in Cost Benefit Analysis: the French experience, *Transportation Research Procedia* 8 (2015) 62 – 71 S. 64

⁴⁴ Small K., Verhoef E., 2007 *The Economics of Urban Transportation*, Routledge, New York, Abington S. 45 ff.

⁴⁵ Mackie P.J., Jara-Diaz S., Fowkes 2001. *The Value of travel time savings in evaluation. Transport Research Part E* (2001) 91-106

Das Diagramm in Abbildung 8 zur Einkommensabhängigkeit der Zeitwerte beschreibt die Abhängigkeit vom Haushaltseinkommen. Je nach Höhe des Einkommens beeinflusst der Faktor den Wert der Reisezeit positiv beziehungsweise negativ. Ab einem Haushaltseinkommen von zirka 2750 Euro brutto pro Monat wirkt sich der Faktor positiv auf den Zeitwert einzelner Personen aus. Bei einem niedrigeren Einkommen wird der Zeitwert reduziert. Das bedeutet, je mehr Geld eine Person zur Verfügung hat, desto eher ist diese Person auch bereit für Reisezeitersparnisse mehr auszugeben. Wenn eine Person jedoch weniger Geld zur Verfügung hat, nimmt die Zahlungsbereitschaft für Reisezeitersparnisse ab.

Die Einkommenselastizität beeinflusst die Wirksamkeit von Maßnahmen, die eine Bepreisung des Reisens vorsehen. Sie beschreibt in diesem Fall die prozentuale Abweichung der Verkehrsnachfrage mit einer Änderung des Einkommens. Bei Personen mit sehr geringen Einkommen ist die Elastizität nahe 0 bei Personen mit höheren Einkommen kann sie auch über den Wert 1 steigen.⁴⁶

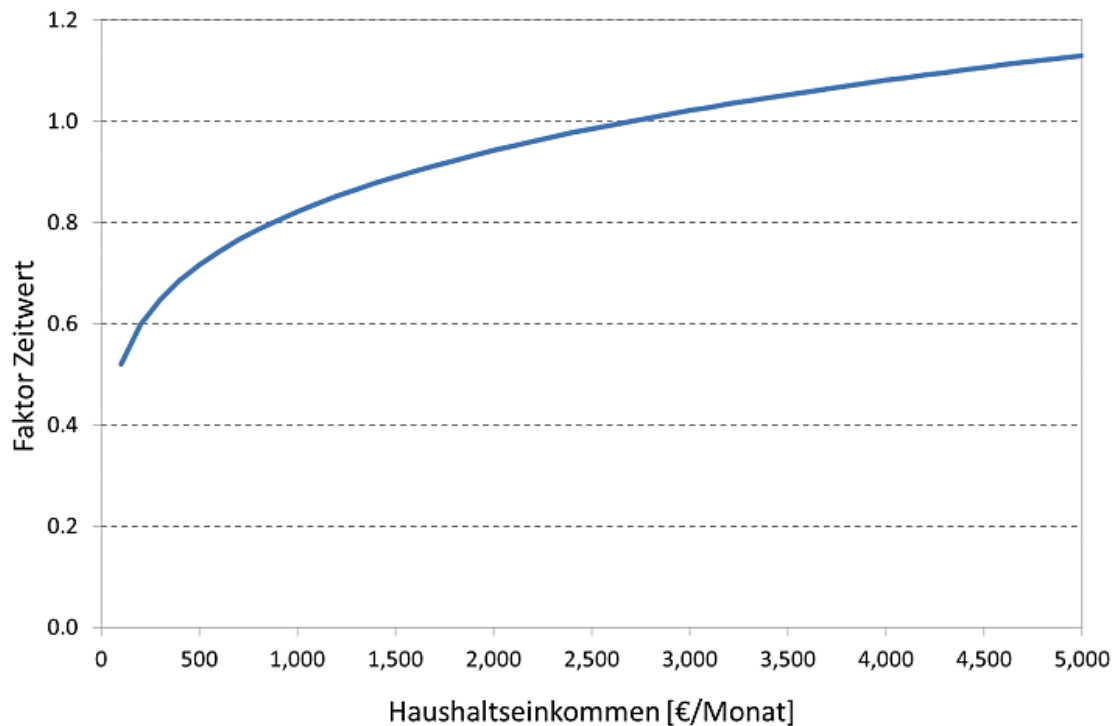


Abbildung 8: Einkommensabhängigkeit des VOT⁴⁷

⁴⁶ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 78 f.

⁴⁷ Quelle: Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 79

3.4.2 Verkehrsmodus/Verkehrsmittel

Je nach Verkehrsmittel wird die Reisezeit unterschiedlich hoch bewertet. Die Zeitwerte für den ÖPNV werden höher bewertet als die Zeitwerte im MIV. Nach Thompson wird die Reisezeit in früheren Studien in Bussen doppelt so hoch bewertet wie die Reisezeit in PKWs. Die Zeit für Fußwege oder Wartezeit wurde doppelt oder dreimal so hoch eingeschätzt wie die Zeit in einem Pkw.⁴⁸ Vergleich man diese Ergebnisse mit der vom BMVI beauftragten Studie stellt man fest, dass auch in neueren Studien die Zeitwerte zwischen den Verkehrsmitteln variieren. Die Einschätzungen haben jedoch nicht so hohe Differenzen wie früher angenommen, sind allerdings auch heutzutage sichtbar. Wie bereits in Tabelle 4 dargestellt, variieren die Werte zwischen MIV und ÖV, im Durchschnitt wird der ÖV gering höher bewertet als der MIV. Auffällig ist, dass bei bestimmten Fahrzwecken, wie bspw. im gewerblichen Verkehr, der MIV höher bewertet wird. Der Fahrtzweck kann somit bei der Ermittlung der Zeitwerte ebenfalls berücksichtigt werden.⁴⁹

Abbildung 9 zeigt die Zahlungsbereitschaft in Abhängigkeit der Verkehrsmittel. Die Unterschiede bei der Bewertung der Zeit sind bei dem Vergleich von ÖV zu MIV relativ gering. Zeitwerte für Flugreisen sind deutlich höher, auf diese wird aber im Zuge dieser Arbeit nicht genauer eingegangen.

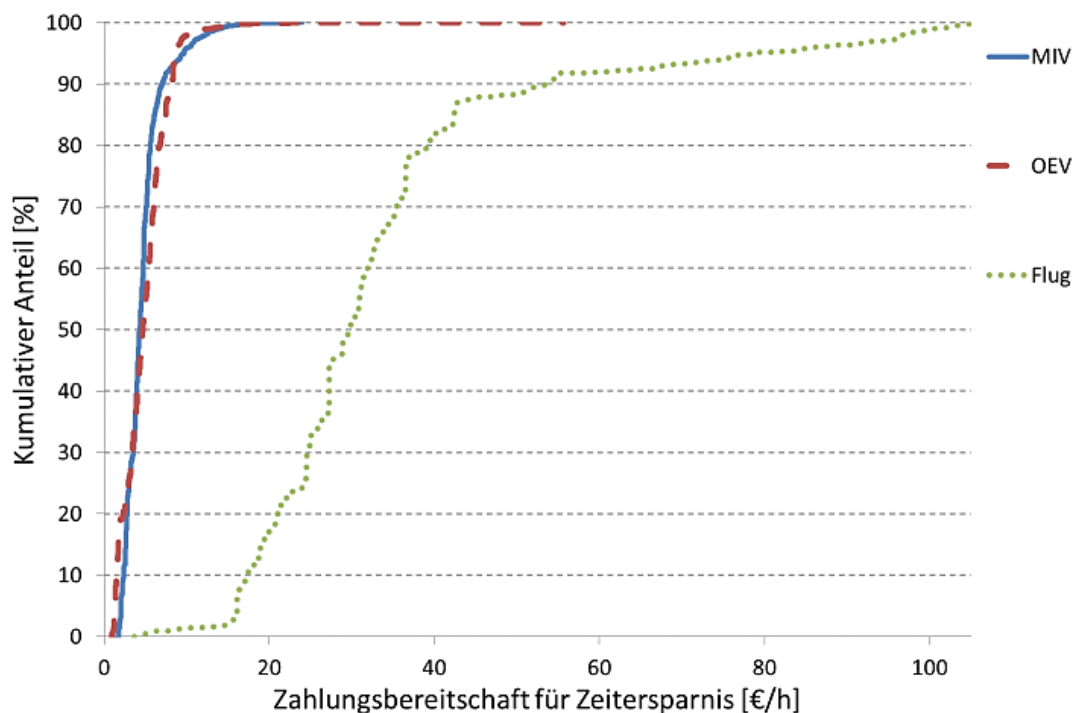


Abbildung 9: Zahlungsbereitschaft in Abhängigkeit der Verkehrsmittel⁵⁰

⁴⁸ Thompson J. M., 1978: Grundlagen der Verkehrspolitik, Bern, Stuttgart S: 79

⁴⁹ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 79

⁵⁰ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 79

3.4.3 Fahrtzweck

Tabelle 7 zeigt die verschiedenen Zeitwerte für die jeweiligen Fahrtzwecke. Ausbildungsverkehr und Freizeitverkehr wird dabei am niedrigsten bewertet. Der Weg in die Arbeit und der Einkaufsweg mit dem ÖV wird etwas höher bewertet, der Einkaufsweg mit dem IV wird jedoch sehr gering bewertet. Eine mögliche Erklärung hierfür ist das der Einkaufsweg mit den öffentlichen Verkehrsmitteln als unangenehmer empfunden wird, da die Einkäufe selbst getragen werden müssen, mit dem eigenen Fahrzeug entfällt diese Unannehmlichkeit. Der höchste Zeit Wert wird dem gewerblichen Weg zugeschrieben. Gewerbliche Fahrten finden während der Arbeitszeit statt und sind daher höher bewertet als privaten Fahrten, da anstatt der Zeit, die zum Reisen aufgebracht wird, die Zeit auch für Arbeitstätigkeiten genutzt werden kann.⁵¹

Tabelle 7: Zeitwerte [€/h] in Abhängigkeit des Fahrtzwecks⁵²

Fahrtzweck	Verkehrsmittel ÖV	Verkehrsmittel MIV	Alle
Ausbildung	4,39	3,90	4,26
Arbeit	4,47	4,87	4,80
Einkauf	5,11	4,29	4,62
Freizeit	4,35	4,03	4,35
Gewerblicher Weg	7,01	8,38	8,50
Arbeit + Ausbildung	4,46	4,73	4,72
Nicht-gewerblich gesamt	4,66	4,32	4,56
Alle	4,83	4,66	4,83

Abbildung 10 zeigt ebenfalls die Abhängigkeit des VOT mit dem Fahrtzweck in Kombination mit der Entfernung. Die Unterschiede bei den Fahrtzwecken Arbeit und Freizeit sind sehr gering. Der Fahrtzweck Ausbildung ist stark entfernungsabhängig, ab 50 Kilometern steigt dieser stark an. Der Zeitwert für gewerblichen Verkehr wird durchschnittlich am höchsten bewertet und steigt mit zunehmender Entfernung stetig an. Der Fahrtzweck Einkaufen wird bei kurzen Distanzen sehr hoch bewertet und nimmt ab einer Entfernung von 100 bis 150

⁵¹ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 79 f.

⁵² Quelle: eigene Tabelle nach Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 79

km kaum noch zu. Dieses Diagramm bringt die Abhängigkeit der Einflussfaktoren untereinander deutlich zum Ausdruck. Es ist hierbei schwierig Einflussfaktoren voneinander zu trennen, da sie sich gegenseitig beeinflussen.

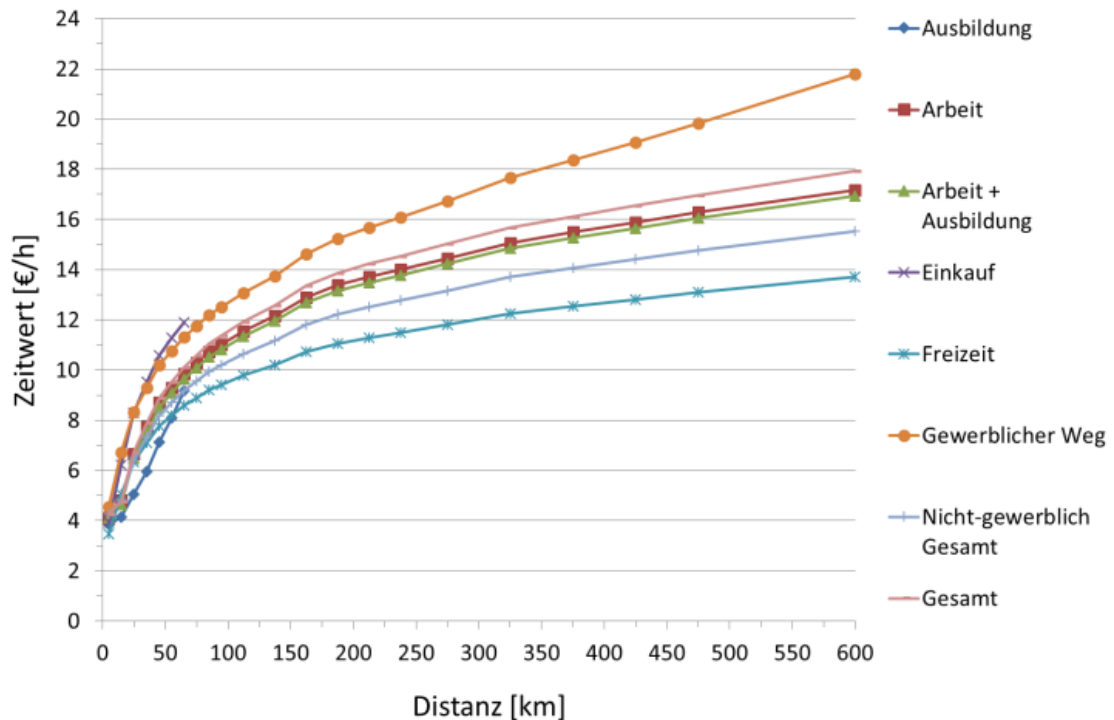


Abbildung 10: VOT in Abhängigkeit des Fahrtzwecks⁵³

3.4.4 Distanz/Reiseweite

Wie bereits beschrieben hat neben dem Fahrtzweck auch die Reiseweite Einfluss auf den VOT. Je weiter die zurückzulegende Distanz ist, desto höher ist der VOT. In

Tabelle 8 sind die verschiedenen Zeitwerte in Abhängigkeit der Reiseweite dargestellt. Die Distanzen variieren von unter 10 Kilometer bis über 500 Kilometer. Neben der Reiseweite wurden auch Fahrtzweck und Verkehrsmittel mitberücksichtigt, da diese ebenfalls den Zeitwert für die Reiseweite mit beeinflussen. Dargestellt sind die Zeitwerte für den MIV. Eine Person, die eine Wegdistanz von unter 10 Kilometern zum Arbeitsplatz hat und den MIV für den Arbeitsweg nutzt, ist bereit für eine Stunde Zeitersparnis 3,78€ zu bezahlen. Beträgt die Distanz 50 bis 60 Kilometer so ist diese Person bereit 9,41€ für eine Stunde Zeitersparnis zu bezahlen. Bei Betrachtung der Entwicklung der VOT-Werte von unter 10 Kilometern

⁵³ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 80

bis hin zu über 500 Kilometer ist eine deutliche Zunahme der Zeitwerte in Abhängigkeit der Reiseweite zu erkennen.⁵⁴

Tabelle 8: Zeitwerte in Abhängigkeit der Reiseweite⁵⁵

Verkehrsmittel	Zweck	Entfernung in km																					
		< 10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	> 500
MIV	Ausbildung	3,53	4,11	5,11	5,69	6,21	6,54	6,83	7,07	7,31	7,47	7,75	8,08	8,48	8,74	8,92	9,08	9,32	9,65	9,88	10,10	10,31	10,79
	Arbeit	3,78	5,14	6,9	7,93	8,84	9,41	9,94	10,36	10,78	11,06	11,56	12,14	12,84	13,29	13,62	13,90	14,32	14,91	15,31	15,69	16,07	16,92
	Einbau	4,22	7,39	9,67	11,00	12,17	12,92	13,60	14,15	14,69	15,06	15,71	16,45	17,37	17,95	18,37	18,74	19,29	20,05	20,57	21,06	21,55	22,65
	Freizeit	3,46	5,04	6,34	7,10	7,77	8,19	8,58	8,89	9,20	9,41	9,78	10,20	10,72	11,05	11,29	11,50	11,81	12,24	12,54	12,82	13,10	13,73
	Gewerb. Weg	4,53	6,65	8,36	9,37	10,26	10,84	11,36	11,79	12,22	12,5	13,02	13,62	14,38	14,87	15,22	15,54	16,03	16,71	17,2	17,67	18,16	19,32
	N-gewerb. Arbeit	3,73	4,93	6,68	7,70	8,6	9,18	9,70	10,12	10,53	10,81	11,31	11,88	12,59	13,04	13,36	13,64	14,06	14,64	15,04	15,42	15,80	16,64
	N-gewerb. Gesamt	3,87	5,14	6,72	7,64	8,45	8,96	9,42	9,79	10,16	10,40	10,83	11,33	11,93	12,30	12,57	12,8	13,14	13,60	13,91	14,19	14,47	15,03
	Gesamt	3,88	5,07	6,97	8,08	9,05	9,68	10,24	10,69	11,15	11,45	11,99	12,61	13,37	13,86	14,21	14,51	14,97	15,60	16,03	16,44	16,85	17,77

3.4.5 Verkehrssituation/Verkehrsbedingungen/Stauung

Der VOT inkludiert neben dem Einkommen auch Stauungen beziehungsweise die Geschwindigkeit und die Wartezeiten und variiert somit in Abhängigkeit der Verkehrssituation. Der Zeitwert für eine Zeitersparnis ist unter Stauungsbedingungen deutlich höher als bei freier Fahrt. Als Parameter für die Ermittlung des VOT in Abhängigkeit der Verkehrssituation wird die Fahrtgeschwindigkeit herangezogen. Die Fahrtgeschwindigkeit ist ein Analyseinstrument für die Stauung bzw. der Verkehrssituation, ist in der Abhängigkeit von den Verkehrsbedingungen mit integriert und beeinflusst somit auch den VOT. Vergleicht man die Verkehrsbedingungen freie Fahrt, langsame Fahrt und Stausituationen miteinander, so ergeben sich höhere Zeitwerte je gestauter die Verkehrssituation sich darstellt. Der Grenznutzen nimmt mit der Unattraktivität der Zeitkomponente zu. Das bedeutet, je gestauter die Verkehrssituation ist und je mehr Zeit der Stau in Anspruch nimmt, desto höher wird der Grenznutzen für den Straßenbenutzer und somit auch der Zeitwert für die Zeitersparnis. Reisende sind dementsprechend bereit mehr zu zahlen, um die Zeit für die Fahrt durch Staus zu vermeiden, als für die Zeit, die sie im freien Verkehr verbringen. Der größte Einfluss auf den gesteigerten VOT durch verkehrsreiche Bedingungen ist der Faktor Zeitunsicherheit. Dieser wird beschrieben durch die zusätzliche Zeit, die man einkalkuliert, um zur

⁵⁴ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 80f.

⁵⁵ Axhausen et. al., 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich S. 82

geplanten Zeit am gewünschten Ort, z.B. dem Arbeitsplatz, anzukommen. Je verkehrreicher die Bedingungen sind, desto mehr Zeit wird zur Sicherheit eingeplant und desto höher wird der Zeitwert für die Reisezeit bewertet. Ein weiterer Grund für einen gesteigerten VOT in Situationen mit dichtem Verkehr sind die steigenden laufenden Kosten des Fahrzeugbetriebs. Mit dem steigenden Kostenlevel für den laufenden Betrieb steigt auch der Zeitwert der Reisezeit an. Oft wird der Unterschied der Zeitwerte auch damit begründet, dass die Zeit im Stau unproduktiv sei. Auch Sicherheitsaspekte, wie das gestiegene Unfallrisiko bei Stau und der Vermeidungsaufwand von Unfällen wirken sich auf die Bewertung des VOT aus. Der Einfluss der Verkehrssituation auf den VOT wurde bereits in mehreren Studien untersucht. In einer Studie zu stark belasteten Highways aus den USA wurden VOT, die auf belasteten Strecken dreimal so hoch waren als bei nicht belasteten Strecken, ermittelt. Der VOT für den MIV in überlasteten Verkehrssituationen ist nach Small zwischen 33% und 55% höher als in nicht überlasteten Verkehrssituationen. Nach Hensher haben Staus das etwa 2,5 fache des Wertes für den freien Verkehr und das Doppelte für langsamer Verkehrssituationen. In weiteren Studien variieren die Ergebnisse zwischen 1,2- und 3,9-mal so hohen VOT für belastete Strecken im Vergleich zu freien Strecken.^{56 57 58 59}

Tabelle 9: Zeitwerte in Abhängigkeit der Verkehrssituation⁶⁰

		Model 1	Model 2	Model 3a	Model 3b	
					Auckland	Other
<i>Running cost:</i>						
Free flow time	6.89	6.82	6.86 (1.8)	6.95 (3.4)	8.26 (1.1)	7.21 (1.1)
Slowed down time	7.48	7.74	8.49 (8.9)	9.26 (5.3)	7.54 (6.1)	10.0 (6.1)
Stop/start time	14.8	14.77	15.47 (4.4)	19.6 (24.2)	20.7 (22)	18.5 (22)
Uncertainty	4.21	4.15	4.16 (1.23)	4.68 (9.7)	12.07 (7.8)	3.9 (7.8)
<i>Tolls:</i>						
Free flow time	8.45	8.49	8.57 (2.3)	8.8 (4.3)	10.3 (1 4)	9.0 (1.4)
Slowed down time	9.15	9.63	10.64 (11.2)	11.7 (6.8)	9.5 (7.6)	13.0 (7.6)
Stop/start time	18.08	18.39	19.39 (5.5)	24.7 (10)	25.9 (32)	23.3 (32)
Uncertainty	5.15	5.17	5.21 (1.5)	5.92 (12.4)	15.1 (9.8)	4.9 (9.8)

In Tabelle 9 sind die jeweiligen Zeitwerte in Abhängigkeit der Verkehrssituation aufgelistet. Die Werte sind im Zuge einer Studie zur Ermittlung des VOT erhoben worden. Grundlage für die ermittelten Werte waren 16 Multinomial-Logit (MNL) und Mixed-Logit (ML) Modelle, die basierend auf RP Daten und SC Befragungen berechnet wurden.

Neben dem Stauungsfaktor kann die gesteigerte Zeiteinschätzung auch auf eine Minute Reisezeit widergespiegelt werden. Tabelle 10 zeigt die Kosten für die Verlagerung von einer Minute von nicht gestauten Verkehrsbedingungen zu gestauten Verkehrsbedingungen in

⁵⁶ Schmall, K. 2012. *Valuation of Travel Time*, *Economics of Transportation*, 1(1), University of California at Irvine S. 9

⁵⁷ Small, K., Nolan, R., Chu, X., Lewis, D. 1999. *Valuation of Travel-Time Savings and Predictability in Congested Conditions for Highway User-Cost Estimation*. NCHRP Report 431. Transport Research Board, National Research Council. S. 8 f.

⁵⁸ Rich, J., & Vandet, C. A. (2019). *Is the value of travel time savings increasing? Analysis throughout a financial crisis*. *Transportation Research. Part A: Policy & Practice*, 124, 145-168. S. 19

⁵⁹ Hensher D. A., 2001. *The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specifications*, *Transportation S.* 111

⁶⁰ Quelle: Hensher D. A., 2001. *The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specifications*, *Transportation S.* 112

Dollar pro Minute. Je länger die Reisezeit desto geringer werden die Kosten für die Verlagerung pro Minute Reisezeit. Bei einer Reisezeit von 10 Minuten betragen die Verlagerungskosten 0,79 \$, bei einer Reisezeit von 60 Minuten 0,13 \$.⁶¹

Tabelle 10: Kostenverlagerung einer Minute von nicht gestauten zu gestauten Verkehrsbedingungen⁶²

Reisezeit Gesamt (in Minuten)	Kostensteigerung (\$ pro Minute)
10	0,79
15	0,52
26	0,30
30	0,26
45	0,17
60	0,13

3.4.6 Maut/Gebühren

Der VOT kann ebenso von den zu zahlenden Gebühren für Verkehr, bspw. Mautgebühren oder auch Parkraumgebühren, beeinflusst werden. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass eine Gebühr die Bewertung des VOT erhöht, da die Gebühr ein weiterer Faktor bei der Betrachtung der Reise ist und der Nutzer die Reise unter Gebühren negativer bewertet als ohne zusätzliche Kosten. Vergleichbar sind diese Kosten für die Reise mit den laufenden Kosten, da sowohl bei der Gebühr als auch bei den laufenden Kosten monetäre Kosten für den Nutzer entstehen. Laufende Kosten sind beispielsweise der Kraftstoffpreis für die Reise. Jedoch werden die Kosten von Gebühr bzw. Kraftstoff unterschiedlich bewertet. Kraftstoffkosten, sind eine finanzielle Verpflichtung zum Zeitpunkt des Tankens, die eine hohe Wahrnehmungsdiskontierung in Bezug auf ihren Einfluss zum Zeitpunkt der Fahrzeugnutzung hat. Im Gegensatz dazu ist eine Maut eine Ausgabe, die vom Fahrer zum Zeitpunkt der Fahrzeugnutzung an den Mautstellenbetreiber zu bezahlen ist. Die Ermittlung eines Faktors für den Einfluss einer Maut auf den VOT gestaltet sich als schwierig, da dieser stark von der Mautpreishöhe abhängig ist. Vergleicht man aber den VOT, bei dem die laufenden Kosten berücksichtigt worden sind, und den VOT im Zuge einer Bepreisung der Fahrt mit einer Gebühr, so ist ein systematisch höherer VOT für Gebühren auszumachen. Im Zuge der Studie von Hensher wurden Mautpreise mit einem Mittelwert von \$3 im Gegensatz zu \$1,558 für die Betriebskosten erhoben, bei einer höheren Standardabweichung von 2,24\$ bei Mautkosten und 1,42\$ bei den laufenden Kosten. Die Zeitwerte im Rahmen einer

⁶¹ Small, K., Nolan, R., Chu, X., Lewis, D. 1999. Valuation of Travel-Time Savings and Predictability in Congested Conditions for Highway User-Cost Estimation. NCHRP Report 431. Transport Research Board, National Research Council. S. 26 f.

⁶² Quelle: Small, K., Nolan, R., Chu, X., Lewis, D. 1999. Valuation of Travel-Time Savings and Predictability in Congested Conditions for Highway User-Cost Estimation. NCHRP Report 431. Transport Research Board, National Research Council. S. 26

Maut sind um circa 25 Prozent höher als die Zeitwerte, bei denen lediglich die laufenden Kosten berücksichtigt worden sind.⁶³

Dies belegen die ermittelten Zeitwerte in Tabelle 9. Für freie Fahrt und unter Berücksichtigung von laufenden Kosten wurde anhand eines MNL-Modells ein VOT von 6,89 \$ pro Stunde berechnet. Für freie Fahrt und Mautkosten ein VOT von 8,45 \$ pro Stunde. Dies entspricht einer Steigerung von 22,6 Prozent. Bei ML-Modellen wurden Steigerungen von 24,5 Prozent (Model1 – free flow time) berechnet. Bei der Annahme, dass die laufenden Kosten für die Fahrt von den Personen bei der Bewertung des VOT mitberücksichtigt werden, kann man aufgrund vorliegender Studien eine Steigerung des VOT durch Mautkosten von 25 Prozent annehmen.

3.4.7 Qualität des Reisens

Durch physische oder psychische Annehmlichkeiten während der Reise kann der Zeitwert für Reisezeitverkürzungen sowohl positiv als auch negativ beeinflusst werden. Je nachdem ob die Qualität des Verkehrs als zusätzliche Kosten oder als zusätzlicher Nutzen angesehen werden. Daher spielen Qualitätsaspekte der Beförderung eine Rolle bei den Zeitwerten. Sie umfassen unter anderem Komfort, Sicherheit, Hitze, Lärm, Luftqualität, Aussicht, Bedienung, Erlebnisse, Abgeschlossenheit oder Gesellschaft. Faktoren wie Arbeitsaktivitäten, Freizeitaktivitäten oder sogar Schlaf kompensieren einen Teil des Nutzenverlustes, der durch die Reisezeit entsteht, und senken den Grenzwert der Reisezeitänderungen. Wenn jedoch der Reisevorgang zu unbequemen Bedingungen stattfindet, kann dies auch als Mehrkosten des Reisens angesehen werden. Manche Menschen sehen die Zeit des Reisens als Möglichkeit des Rückzuges aber auch als Zeit zum Lesen oder zum Nachdenken. Andere freuen sich beim zu Fuß gehen oder bei Fahrradtouren an die frische Luft zu kommen oder sich sportlich zu betätigen. Das Kriterium Qualität des Reisens kann bei der Betrachtung eines City Maut Konzept vernachlässigt werden, da sich die Einführung City Maut nicht auf den Komfort des Reisens auswirkt.^{64 65}

Dies oben genannten Einflussgrößen können selten entkoppelt voneinander betrachtet werden da sie sich gegenseitig beeinflussen. Es ist schwierig Einkommenseffekte von strukturellen Effekten wie Entfernung, Geschwindigkeit und Stau zu entkoppeln, da die strukturellen Effekte indirekt mit dem Einkommen korrelieren.⁶⁶

⁶³ Hensher D. A., 2001. *The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specifications*, *Transportation* S111 ff.

⁶⁴ Tompson J. M., 1978: *Grundlagen der Verkehrspolitik*, Bern, Stuttgart S. 103

⁶⁵ ITF (2019), *What is the Value of Saving Travel Time?*, *ITF Roundtable Reports*, No. 176, OECD Publishing, Paris.S: 18 ff.

⁶⁶ Rich, J., Vandet, C. A. (2019). *Is the value of travel time savings increasing? Analysis throughout a financialcrisis.* *Transportation Research. Part A: Policy & Practice*, 124, 145-168. S. 19

3.5 Ermittlung des Basis-VOT

Bei der Modellierung einer City-Maut in Verkehrsmodellen wird der Widerstand der Maut als Reisezeitwiderstand berücksichtigt. Um den Mautpreis als Widerstand in das Verkehrsmodell eingeben zu können, muss der Mautpreis in eine Reisezeit beziehungsweise einen Reisezeitwiderstand umgerechnet werden. Mithilfe des VOT lässt sich ein Kostenwiderstand in einem Zeit- bzw. Reisezeitwiderstand umwandeln. In diesem Fall soll der Mautpreis, der für Nürnberg berechnet worden ist, in einem Zeitwiderstand für Nürnberg konvertiert werden. Grundlage dafür ist ein für Nürnberg spezifischer VOT. Dieser orientiert sich an dem Richtwert, der in der Studie für den Bundesverkehrsentwicklungsplan in Kapitel 3.2 ermittelt worden ist. Ebenso sollen auch die Werte aus anderen Studien in anderen Ländern in die Ermittlung des VOT für Nürnberg mit einfließen, um mehrere wissenschaftliche Erkenntnisse in die Bestimmung miteinfließen zu lassen. Dazu werden die Studien von Île-de-France und Stockholm, die in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 vorgestellt wurden, herangezogen. Die VOTs sind in einem länderspezifischen Umfeld, in Bezug auf Kaufkraft, Einkommen und weiteren variablen Faktoren wie bspw. den Verkehrsbedingungen, erhoben worden. Es ist daher wichtig die verschiedenen ermittelten VOT der Studien zu normieren und einen einheitlichen VOT als Basiswert zu formulieren. Faktoren, wie die Kaufkraft, das Einkommen sowie die Verkehrssituation müssen mit einberechnet werden. Zusätzlich ist zu beachten, dass keine Differenzierung nach Fahrtzweck vorgesehen ist, da sich der Nürnberger VOT auf alle Fahrtzwecke beziehen soll, da alle Fahrten von einer City-Maut gleichermaßen betroffen sind. Bei den Empfehlungswerten werden bei vorhandener Differenzierung die Werte des Verkehrsmodus MIV ausgewählt, bei fehlender Differenzierung werden die allgemeinen Empfehlungswerte angenommen. Die Faktoren Distanz und Qualität des Reisens werden in den Studien nicht in der nötigen Differenzierung berücksichtigt bzw. finden keinen Einfluss auf den die empfohlenen/ermittelten VOT und werden daher bei der Bestimmung des Basis-VOT vernachlässigt. Ein distanzabhängiger Ausgangswert ist zudem nicht sinnvoll, da bei der Bestimmung des VOT für Nürnberger keine Differenzierung nach Reiseweiten vorgesehen ist. Die City-Maut wirkt sich auf jede Fahrt unabhängig von der Strecke im gleichen Maße aus.

Die Ausgangswerte für die Normierung des VOT können aus Kapitel 3 übernommen werden. Der VOT für Deutschland beträgt demzufolge im MIV 4,66 Euro pro Stunde, der VOT für Stockholm 127 Schwedische Kronen pro Stunde für den MIV, dies entspricht einen VOT von 14 Euro pro Stunde. Für Île-de-France wurde ein VOT von 13,575 Euro pro Stunde für alle Modi im Urbanen Raum ermittelt. Auf Basis dieser Zeitwerte wird ein allgemeiner VOT normiert.

Internationale Wirtschaftsdaten - bzw. in Bezug auf diese Arbeit der VOT - sind nur aussagekräftig, wenn die Kaufkraft zugrunde gelegt wird. Der internationale Vergleich der VOT macht nur unter Berücksichtigung der Kaufkraftparitäten Sinn. Um die verschiedenen Einkommen und Kaufkraft bei der Normierung zu berücksichtigen, finden der sogenannte Kaufkraftstandard bzw. Kaufkraftparitäten Eingang bei der Normierung des VOT-Basiswertes und auch in die Berechnung des VOT für Nürnberger.

3.5.1 Kaufkraftstandard/Kaufkraftparitäten

Kaufkraftparitäten (KKP) ermöglichen die Berechnung aussagekräftiger Indikatoren (auf Preis- oder Volumenbasis), die für internationale Vergleiche benötigt werden, und vermitteln somit ein realistisches Bild von der unterschiedlichen Kaufkraft, insbesondere auch der privaten Haushalte, die für die Berechnungen im Zuge einer City-Maut von besonderer Bedeutung sind. Die Ermittlung von Kaufkraftparitäten erfolgt mit der Analyse, wie viele Währungseinheiten in unterschiedlichen Ländern erforderlich sind, um eine bestimmte Menge von Waren und Dienstleistungen zu erwerben. Auswirkungen der durch Wechselkurschwankungen verursachten Preisniveauunterschiede zwischen den Ländern werden durch die Umrechnung anhand von KKP in eine künstliche gemeinsame Währungseinheit, den Kaufkraftstandard (KKS), ausgeschaltet. Der Kaufkraftstandard (Englisch: Purchasing Power Standard) ist eine fiktive Geldeinheit, die für Wirtschaftsvergleiche innerhalb der Europäischen Union verwendet wird. Verzerrungen aufgrund von Unterschieden im Preisniveau verschiedener Länder werden dadurch ausgeblendet.^{67 68}

Tabelle 11: KKS der verschiedenen Länder/Städte⁶⁹

Land/Stadt	Deutschland	Mittelfranken	Île-de-France	Stockholm
KKS	123	136	178	164

Tabelle 11 zeigt die verschiedenen KKS, die für die Normierung des VOT bzw. der Berechnung des Nürnberger VOT relevant sind. Die Angaben des KKS stammen vom Statistischen Amt der Europäischen Union. Der KKS der EU27 beträgt 100. Für Nürnberg kann der KKS von Mittelfranken veranschlagt werden, da sich die Modellierung der Maut nicht auf Nürnberg beschränkt sondern auch das Einzugsgebiet, sprich Mittelfranken, berücksichtigt. Der mittelfränkische KKS beläuft sich auf 136. Für Deutschland beträgt der KKS 123. Der KKS für Île-de-France, dies entspricht auch dem Studenumfeld des VOT, wird auf 178 beziffert, der KKS für Stockholm wird 164 festgesetzt. Die Einkommensunterschiede der Stichprobengesamtheit und die Kaufkraft der einzelnen Länder wird auf diese Weise bei der Normierung des VOT mitberücksichtigt.

3.5.2 Stauungsfaktor

Ein entscheidendes Kriterium für die Normierung der drei verschiedenen VOT ist die Verkehrssituation bzw. die Stauung, da zwei der herangezogenen Studien in Umfeld von Großstädten (Großraum Paris und Stockholm) und die dritte Studie im gesamten Gebiet (urbaner und ländlicher Raum) Deutschlands erhoben worden sind.

⁶⁷ Bundeszentrale für politische Bildung, 2021. <https://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/pocket-europa/16844/kaufkraftparitaeten-kkp> (05.03.2021)

⁶⁸ European Union, 2021. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Purchasing_power_standard_\(PPS\)/de](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Purchasing_power_standard_(PPS)/de) (05.03.2021)

⁶⁹ Quelle: eigene Tabelle nach Eurostat, 2020. BIP pro Kopf in den Regionen der EU, Regionales BIP pro Kopf 2018 reichte im Jahr 2018 von 30% bis 263% des EU-Durchschnitts, 38/2020

Vergleicht man die Studienumfelder der drei zugrunde liegenden Studien müssen unterschiedliche Verkehrssituationen angenommen werden, da in Großstädten, wie in diesem Fall Großraum Paris und Stockholm, höher belastete Verkehrsbedingungen anzunehmen sind, als in der Studie, die für das gesamte Land Deutschland durchgeführt worden ist. Diese Annahme wird bei Betrachtung des Stauindex deutlich. Der Stauindex für Paris liegt mit 13,1 deutlich höher als der durchschnittliche Stauindex für Deutschland mit 5,5. Da die Studie für gesamt Deutschland erhoben wurde, muss der Stauindex mit dem gesamtdeutschen Stauindex verglichen werden. Der Pariser Stauindex ist mehr als doppelt so hoch als der deutsche Stauindex, daher kann von einer deutlich verkehrsreicheren Bedingung bei der Erhebung des Pariser VOT ausgegangen werden⁷⁰. Die Studie zum VOT in Stockholm wurde zur Einführung der Maut durchgeführt, daher ist der aktuelle Stauindex nicht mit der Studie in Zusammenhang zu bringen, da die Maut die Stauungen mittlerweile reduziert. In der Studie selbst werden aber sehr dichte Verkehrsbedingungen als Studienumfeld beschrieben. Daher kann auch für die Ermittlung des Stockholmer VOT von einer deutlich höher gestauten Verkehrssituation ausgegangen werden.

Der Stauungsfaktor wird oft in Abhängigkeit der Stauung bestimmt. Generell wird in drei verschiedene Kategorien der Verkehrssituationen unterschieden: ungehindert/freie Fahrt, stockend/stark belastet sowie im Stau stehend/Start-Stopp Verkehr. Die Abgrenzung der Kategorien erfolgt in den Studien individuell. Es ist daher schwierig klare Grenzen der Kategorien zu formulieren, jedoch dienen die Definitionen des Staus als Orientierungshilfe für die Einteilung der drei Kategorien.

Nach Gerondeau kann der Begriff Stau mit folgenden Definitionen beschrieben werden:

- nicht flüssiger Verkehrsfluss
- Absinken der mittleren Geschwindigkeit in einem Zeitintervall unter einen Geschwindigkeitsschwellenwert
- Anfallen wirtschaftlicher Kosten, wenn die Nachfrage die Kapazität überschreitet
- Situation bei der die Nachfrage die Kapazität überschreitet
- individuelle und qualitative Staudefinition⁷¹

Das Schweizer Bundesamt für Straßen definiert Stau mit folgenden Kriterien:

- Außerorts stark reduzierte Fahrzeuggeschwindigkeit mindestens eine Minute unter 10 km/h und häufiger Stillstand
- innerorts bei Knoten oder Engpässen eine Verlustzeit von insgesamt mehr als 5 Minuten

⁷⁰ Cookson G., 2018. *INRIX Global Traffic Scorecard*, INRIX Research S. 10

⁷¹ Gerondeau C., 1998. *Introductory Report on Traffic Congestion in Europe*. In: ECMT (1999)

- Verkehrsüberlastung: Kapazitätsgrenze einer Verkehrsanlage wird überschritten

Für stockenden Verkehr werden folgende Kriterien zugrunde gelegt:

- außerorts stark reduzierte Fahrzeuggeschwindigkeit mindestens eine Minute unter 30 km/h und/oder teilweise kurzer Stillstand⁷²

Grundsätzlich gilt je höher die Stauung desto höher der VOT. Bei leicht gestauten Verkehrssituationen ist der VOT dementsprechend geringer als bei Start/Stopp Verkehr bzw. verkehrsreichen Situationen. Wie in Kapitel 3.4.5 bereits beschrieben, bewerten verschiedene Quellen den Stauungsfaktor unterschiedlich. Die Bandbreite reicht von 1,2 bis 3,9-mal so hoch für gestaute Verkehrssituationen im Gegensatz zu freien Verkehrsbedingungen. Bei den Ergebnissen der Studien handelt es sich zum Teil auch um Zeitwertspannen von 1,5 bis 3,9. Für diese Arbeit wird der Stauungsfaktor auf 2 festgelegt. Dies bedeutet der VOT für gestaute Verkehrssituationen ist doppelt so hoch wie für die freie Fahrt. Nach Hensher gilt ebenfalls, Staus haben etwa den 2,5-fachen Wert für den VOT im freien Verkehr und das Doppelte in langsamen Verkehrssituationen.⁷³

Setzt man die beschriebenen Definitionen und Kriterien für Stau voraus, können die hohen Stauungsfaktoren von 2,5 bis 3,9 ausgeschlossen werden, da die Studien nicht unter Start/Stop Bedingungen mit häufigem Stillstand im Verkehrsfluss und deutlich reduzierten Fahrtgeschwindigkeiten erhoben wurden. Es ist von mittelmäßig gestauten Verkehrsbedingungen bzw. stockendem Verkehr auszugehen und nicht von leicht gestauten Verkehrsbedingungen, daher können auch die geringen Stauungsfaktoren von 1,2 bis 1,6 ausgeschlossen werden. Die übrigen Schwankungen sind durch die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Erhebung bzw. aufgrund verschiedenen Datengrundlagen zu erklären.

3.5.3 Normierung VOT

In Tabelle 12 wird anhand der ermittelten Kriterien ein allgemeiner VOT normiert. Bei der deutschen Studie bleibt es bei dem ursprünglichen VOT von 4,66 € pro Stunde, da weder ein Stauungsfaktor noch die Kaufkraft berücksichtigt werden müssen. Nach der Normierung des Stockholmer VOT ergibt sich ein VOT von 4,20 €/h, für den Pariser VOT ein normierter VOT von 4,69 €/h. Zudem ist zu beachten, dass die Ermittlung des VOT in Stockholm mit Einführung der City-Maut, durchgeführt wurde. Dies kann zu einer gesteigerten Bewertung der Zeit führen, da sich durch die Änderung der Rahmenbedingungen die Zeit bzw. die Kosten des Reisens in den Fokus gestellt werden. Daher wurde bei der Normierung des Stockholmer VOT ein Mautfaktor mitberücksichtigt. Die weitere kleine Abweichung der VOT-Werte ist durch die übrigen Faktoren, wie bspw. die Qualität des Reisens, die schwierig zu beziffern und insbesondere im Studienvergleich untereinander zu gewichten sind, zu erklären. Sie werden daher für die Normierung nicht berücksichtigt. Gemittelt ergibt sich ein

⁷² Bundesamt für Strassen ASTRA 2021:
<https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/nationalstrassen/verkehrsfluss-stauaufkommen/definitionen.html>
(04.03.2021)

⁷³ Hensher D. A., 2001. *The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specifications*, *Transportation S*111 ff.

VOT von 4,52 € pro Stunde. Dies ist ein normierter VOT-Wert für den MIV, der von weitestgehend allen großen Einflussfaktoren (Stauungen, Einkommen, Kaufkraft und Maut) bereinigt und auf die Kaufkraft von Deutschland ausgelegt ist.

Tabelle 12: Normierung VOT ⁷⁴

Studie Deutschland	Studie Stockholm	Studie Île-de-France
4,66 € pro Stunde	14 € pro Stunde	13,575 € pro Stunde
Stauungsfaktor: 1 $4,66 \text{ €} \div 1 = 4,66 \text{ €/h}$	Stauungsfaktor: 2 $14 \text{ €} \div 2 = 7 \text{ €/h}$	Stauungsfaktor: 2 $13,575 \text{ €} \div 2 = 6,79 \text{ €/h}$
KKS: 123 (Deutschland) $4,66 \text{ €} \times \frac{123}{123} = 4,66 \text{ €/h}$	KKS: 164 (Stockholm) $7 \text{ €} \times \frac{123}{164} = 5,25 \text{ €/h}$	KKS: 178 (Île-de-France) $6,7875 \text{ €} \times \frac{123}{178} = 4,69 \text{ €/h}$
Mautfaktor: 1 $4,66 \text{ €} \div 1 = 4,66 \text{ €/h}$	Mautfaktor: 1,25 $5,25 \text{ €} \div 1,25 = 4,20 \text{ €/h}$	Mautfaktor: 1 $4,69 \text{ €} \div 1 = 4,69 \text{ €/h}$
$(4,66 \text{ €/h} + 4,20 \text{ €/h} + 4,69 \text{ €/h}) \div 3 = 4,52 \text{ €/h}$		
KKS:136 (Mittelfranken); Mautfaktor 1,25 $4,52 \text{ €} \times \frac{136}{123} \times 1,25 = 6,25 \text{ €/h}$ VOT Nürnberg: 6,25 € pro Stunde		

Für die Bestimmung eines VOT für Nürnberger müssen nun alle Nürnberg-spezifischen Einflussgrößen einbezogen werden, um einen möglichst aussagekräftigen VOT zu erlangen. Daher wird neben einem Mautfaktor auch die Kaufkraft von Mittelfranken (KKS: 166) im Verhältnis zur Kaufkraft von Deutschland (KKS: 123) mit einberechnet. Der Mautfaktor muss berücksichtigt werden, da es sich bei dem Nürnberger VOT um einen Zeitwert handelt, der unter Mautbedingungen gelten soll. Ein Stauungsfaktor wird hier unter der Annahme, dass die Verkehrsbedingungen nicht weit von den Verkehrsbedingungen des Basis VOT abweichen, nicht mitberücksichtigt. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass Stauungsbedingungen durch die Einführung einer City-Maut generell reduziert werden. Aus diesen Überlegungen ergibt sich für Nürnberg ein VOT von 6,25 € pro Stunde. Dieser Wert ist dann für die Implementierung einer City-Maut für die Stadt Nürnberg in einem Verkehrsmodell zugrunde zu legen.

⁷⁴ Quelle: eigene Tabelle

4. City-Maut

Der Begriff City-Maut bezeichnet im Allgemeinen ein Erheben von Gebühren für die Nutzung von Verkehrswegen im Zentrum von Städten. Die City-Maut ist ein Instrument zur Beeinflussung des Verkehrs, zur Verringerung der Umweltbelastungen und/oder zur Erzielung von Finanzmitteln für Infrastrukturprojekte bzw. verkehrliche Maßnahmen. Für den Begriff City-Maut werden in der internationalen Fachliteratur auch die Begriffe Road-Pricing und Congestion Charge verwendet.⁷⁵

City-Maut Konzepte verfolgen in der Regel eines der folgenden Ziele:

- Reduktion der Kfz-Verkehrsnachfrage

Eine City-Maut zur Reduktion der MIV-Nachfrage wird häufig auch als „Congestion Charging“, übersetzt „Stauvermeidungsmaut“, bezeichnet. Ziel einer solchen Maut ist es, durch die Kostenerhöhung für den einzelnen Nutzer eine Reduktion der MIV-Verkehrsnachfrage und eine Anhebung der Reisegeschwindigkeit des Verkehrs im Mautgebiet zu erreichen. Durch die Erhöhung der Kosten steigen die Kosten für eine Autofahrt im Vergleich zu den Alternativen an. Es resultiert eine individuelle Entscheidung, ob und wieviel eine Person für die Fahrt bezahlen will. Durch die Gebühr entsteht der Anreiz Kosten zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Personen, die die Gebühr nicht bezahlen wollen, verzichten auf eine bestimmte Fahrt bzw. steigen auf günstigere Verkehrsmittel um. Die Reduktion der MIV-Nachfrage resultiert aus der Verlagerung von Routen aus dem Mautgebiet, aus der Verlagerung der Verkehrsnachfrage auf andere Verkehrsmittel, aus der Zielverlagerung und aus dem Entfall von Fahrten. Eine solche Maut hat als Folgewirkung der Verkehrsreduktion auch die Senkung der Umweltbelastung durch den Autoverkehr als Ziel. Eines der bekanntesten Beispiele für eine Maut mit der Reduktion der Verkehrsnachfrage als Ziel ist das Congestion Charge in London.^{76 77}

- Reduktion der Umweltbelastung im Mautgebiet

Das primäre Ziel dieser Maut ist die Verringerung der Umweltauswirkungen durch den Autoverkehr und Stau. Infolge der Reduktion der Autoverkehrsnachfrage und der Staureduktion resultiert eine Senkung der Emission von CO₂, Stickoxiden sowie Feinstaub und dadurch ein Absenken der Umweltbelastung. Durch eine Differenzierung der Mautpreishöhe in Abhängigkeit der Umweltfreundlichkeit der Autos, kann die Umweltfreundlichkeit der Fahrzeugflotte, die in das Mautgebiet einfährt, verbessert werden. Als Orientierung für die Mautpreishöhe können die Emissionsklassen für PKWs dienen.

⁷⁵ Kossak A. 2008. *Steuerung des städtischen KFZ-Verkehrs- Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen*, Deutsches Institut für Urbanistik GmbH, Berlin S. 25

⁷⁶ Sammer G. 2012. *Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität* Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden S. 480 f.

⁷⁷ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. *Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München*, ifo Institut, München S. 15

- Internalisierung der externen Umwelt- und Verkehrssicherheitskosten des Autoverkehrs

Das Ziel dieser Art von Maut ist es, einen Teil der externen Kosten, die durch den Autoverkehr entstehen auf den Autonutzer zu übertragen. Der externe Kostenanteil ist beim öffentlichen Verkehr deutlich geringer. Durch eine solche Maut kann die Wettbewerbssituation des öffentlichen Verkehrs gegenüber dem MIV verbessert werden. Problematisch gestaltet sich hier jedoch die gerechte Ursachenzurechnung der externen Kosten zu den einzelnen Verursachern. Verdeutlicht wird dies beispielsweise an der Schätzung der Folgekosten für Treibhausgasemission. An der Börse werden für den CO₂ Zertifikathandel etwa 20€/Tonne Treibhausgasemission veranschlagt. In der österreichischen Richtlinie für Nutzen-Kosten-Untersuchung beträgt dieser Wert 50 €/Tonne Treibhausgasemission und in der wissenschaftlichen Literatur bis zu 800 €/Tonne Treibhausgasemission.⁷⁸

- Finanzierung von Bau und Betrieb von Verkehrsinfrastruktur

Eine Finanzierungsmaut ist eine Maut, die als Ziel die Generierung von Einnahmen für Investitionen in die Straßeninfrastruktur hat. Die Einnahmen durch die Mautgebühren werden in den Bau bzw. Betrieb von Verkehrsinfrastruktur investiert. Gesetzliche Bestimmungen verhindern das Einsetzen der Einnahmen für Verkehrslenkungszwecke. Bei der City-Maut in Oslo, die 1990 eingeführt wurde, handelt es sich nicht um eine verkehrslenkende Maut, sondern um eine klassische Finanzierungsmaut.⁷⁹

Die Ziele für die Einführung einer Maut können sowohl einzeln als auch in Kombination der vorab genannten Arten betrachtet werden. Die Zielsetzungen sind häufig von der jeweiligen Ausgangssituation und Ausgangsproblematik abhängig, eine eindeutige Zuordnung ist nicht in allen Einzelfällen klar möglich.

Bei der Erstellung des City-Maut Konzept für die Stadt Nürnberg steht das Ziel der Reduktion der Kfz-Verkehrsnachfrage im Mittelpunkt. Die Finanzierung weiterer Verkehrsmaßnahmen bzw. Verkehrsinfrastruktur durch die Maut wird nicht betrachtet. Es werden bei der Analyse des Maut-Konzepts nur die verkehrlichen Auswirkungen der City-Maut für Nürnberg betrachtet. Der Fokus der Auswertung liegt insbesondere auf der MIV-Verkehrsnachfrage und einer möglichen Mobilitätsänderung. Eine resultierende Reduktion der Umweltbelastung wird nicht untersucht.

⁷⁸ Sammer G. 2012. *Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden S 481*

⁷⁹ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wölfl A. 2020. *Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München S. 17 f.*

4.1 Bemessungsgrundlagen einer City-Maut

Bei einer City-Maut wird die Erhebung der Straßennutzungsgebühr nach dem Verursacherprinzip erhoben. Für die Konzeption einer City-Maut können folgende Bemessungsgrundlagen berücksichtigt werden:

- Raumbezogene Bemessung

Bei der raumbezogenen Bemessung wird zwischen der fahwegabhängigen, der streckenabhängigen und der gebietsabhängigen Differenzierung unterteilt. Bei der fahwegabhängigen Bemessung ist die Länge des Fahrweges in einem Netz (z.B. nach Kilometer) entscheidend. Die Maut wird in Abhängigkeit der Entfernung/Strecke, die im Mautgebiet zurückgelegt wird, bestimmt. Die Verkehrsnachfrage ist sehr elastisch gegenüber einer entfernungsabhängigen (gemessen in zurückgelegten Kilometern) Maut. Die Mautbemessung kann auch streckenunabhängig erfolgen. Dabei ist die Anzahl der Durch- oder Überfahrten bei ausgewählten Strecken- bzw. Netzteilen wesentlich. Diese Form der Mauterhebung ist bei Brücken oder Tunnels üblich. Eine weitere räumliche Bemessungsgrundlage ist die gebietsabhängige Berechnung der Maut. Der Mautpreis wird anhand der Anzahl der Ein- oder Durchfahrten in ein Stadtgebiet oder ein sensibles Gebiet im ländlichen Raum erhoben. Die Häufigkeit der Querung des Mautkordons ist dabei entscheidend. Neben der Mautpreishöhe hat die Abgrenzung des Mautgebiets einen großen Einfluss auf die Wirkungen einer Maut. Dies sollte bei der Bemessung der Maut berücksichtigt werden. Die gebietsabhängige Mautbemessung findet vorwiegend bei City-Mauten Anwendung.^{80 81}

- Bemessungszeitraum

Die Berechnung der Maut kann auch in Abhängigkeit eines Zeitraumes erfolgen. Die Lenkungswirkung einer Maut kann auf diese Weise zusätzlich beeinflusst werden. Eine Möglichkeit hierfür sind fixe Zeiträume, wie bestimmte Tageszeiten oder auch bestimmte Wochentage. Die Maut und Mautpreishöhe sind beispielsweise von der Uhrzeit abhängig und können sehr variabel gestaltet werden. Auch Tageskarten für die Befahrung des Mautgebietes sind Möglichkeiten der Bemessung. Die Verkehrsnachfrage hierfür ist aber weniger elastisch. Allerdings ermöglicht es dem Nutzer für einen gewählten „Mauttag“ das Mautgebiet möglichst intensiv zu befahren. Die Bemessung der Maut kann auch nach variablen Zeiträumen erfolgen, sie ist dann unabhängig von Uhrzeiten und Wochentagen. Die Verweildauer des Fahrzeugs im Mautgebiet legt die Höhe der Maut fest. Die Art der Bemessung hat teilweise Effekte, die mit Parkgebühren vergleichbar sind. Eine weitere Möglichkeit ist die Bemessung einer Maut in dynamischen Zeiträumen, dabei wird die Verweildauer eines Fahrzeuges mit der Verkehrsdichte zum Zeitraum der Verweildauer kombiniert. Die Mautberechnung erfolgt dabei auch in Abhängigkeit von Stauungen bzw. von den Verkehrsbedingungen im Mautgebiet. Hier ist hervorgehoben, dass bei der Bemessung einer City-

⁸⁰ Sammer G. 2012. *Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität* Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden S. 482

⁸¹ Steining K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz S. 60 f.

Maut die Bemessung nach dynamischen Zeiträumen äußerst sinnvoll sein kann, da im innerstädtischen Bereich hohe Verkehrsdichten und Stauungen häufig auftreten. Bei einer Einführung einer Maut mit dem Ziel der Stauvermeidung ist also auch eine Staffelung des Mautpreises in Abhängigkeit der stadtspezifischen Tagesganglinien oder in dynamischer Form, abhängig von der vorhandenen Verkehrsnachfrage im Mautgebiet, möglich.^{82 83}

- Emission von Luftschadstoffen

Bei einer Einführung einer City-Maut mit dem Ziel der Reduktion der Umweltbelastung kann eine Differenzierung nach den Emissionsklassen der Euronorm bzw. nach Fahrzeugkategorie zweckmäßig sein. Unter dem Gesichtspunkt der Umweltbelastung ist auch eine Differenzierung der Maut in Abhängigkeit der Emissionsrate und nach Länge des Fahrweges sinnvoll.

- Differenzierung nach der Nutzergruppe

Grundsätzlich ist eine Differenzierung nach der Nutzergruppe auch denkbar. Bestimmte Personengruppen, wie gehbehinderte Personen oder auch einzelne Berufsgruppen können so gesondert berücksichtigt werden. Der Mautpreis kann auch zwischen der Wohnbevölkerung im Mautgebiet, Berufspendler in das Mautgebiet und verschiedenen Einkommensgruppen variieren. Eine spezielle Regelung ist im Besonderen für Bewohner und Betriebe im Mautgebiet erforderlich. Eine Differenzierung des Mautpreises darf jedoch nicht zu unzulässiger Ungleichbehandlung oder Diskriminierung führen. Hier sind insbesondere auch die Akzeptanz und die Wirkung der Maut hervorzuheben, die bei einer solchen Differenzierung stark sinken können.⁸⁴

- Bonus Maßnahmen/Kompensation

Bonusprogramme im Zuge einer City-Maut zielen darauf ab mögliche negativen Folgen einer City-Maut zu kompensieren. Kompensationszahlungen können beispielsweise für Einkaufszwecke ermöglicht werden. Bei Einkäufen wird eine bestimmte Summe als Kompensationszahlungen an den Autonutzer zurückzugeben. Eine weitere Möglichkeit sind Kompensationszahlungen bei der Benutzung des öffentlichen Verkehrs, z. B. durch einen Nulltarif bzw. vergünstigte Preise für Fahrten in die oder innerhalb der Mautzone. Voraussetzung für diese Variante ist jedoch eine entsprechende Quersubventionierung des öffentlichen Verkehrs aus den Mauteinnahmen.

⁸² Sammer G. 2012. *Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität* Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden S. 483

⁸³ Steininger K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz S. 60 ff.

⁸⁴ Sammer G. 2012. *Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität* Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden S. 483

Folgende Bemessungsgrundlagen können in Kombination mit den beschriebenen Kriterien miteinbezogen werden:

- Gewichtsklassen der Fahrzeuge (maximal höchst zulässiges Gesamtgewicht)
- Motorleistung (z.B. in Kilowattklassen)
- Art der Gebührenerhebung (vor Fahrtantritt, unmittelbar, nachträglich)
- Lärmemissionen (nach Höhe des äquivalenten Dauerschalldruckpegels)
- Art des Antriebs: Bevorzugung alternativer Energiequellen (z.B. Brennstoffzellen)
- Besetzungsgrad (für Personenverkehr): Anzahl der Insassen pro Fahrzeug (mit steigendem Besetzungsgrad günstiger)

Diese Bemessungsgrundlagen werden oft zur Abstufung der Mautpreishöhe herangezogen. Allgemein muss beachtet werden, dass die Art der Mautbemessung sehr stark die Übersichtlichkeit und die Transparenz der Maut beeinflusst und damit auch einen großen Einfluss auf die Akzeptanz hat. Die Auswahl der Kriterien bzw. Bemessungsgrundlagen ist eng mit der Zielsetzung der City-Maut verknüpft.^{85 86}

4.2 Technik der City-Maut Systeme

City-Maut-Konzepte unterscheiden sich nicht nur in ihren Bemessungsgrundlagen, sondern auch bei der Technik der Gebührenerhebung. Die Technologien haben auch Einfluss auf die Wirkung und den Erfolg einer Regulierungsmaßnahme. Das eingesetzte System kann sich sowohl positiv als auch negativ auswirken. Um positive Effekte zu erzielen müssen Auswahl und Umsetzung der Technologie im Einklang mit der gewünschten Zielsetzung erfolgen. Allgemeine Voraussetzung ist eine zuverlässige Fahrzeugidentifikation bei allen Umwelt- und Verkehrsbedingungen. Zu den Umweltbedingungen zählt der Betrieb zu allen Tages- und Nachtzeiten und Wetterbedingungen (Regen, Schneefall, Temperaturen, Nebel, tiefstehende Sonne). Die Verkehrsbedingungen umfassen sowohl sehr hohen Geschwindigkeiten als auch Stauungen für alle Fahrzeuge auf und zwischen allen Fahrspuren. Moderne Informations- und Kommunikationstechniken ermöglichen sowohl die Fahrzeugerkennung und Gebührenabrechnung ohne Unterbrechung des Verkehrsflusses als auch flexible Gebührensysteme. Dies stellt hohe Anforderungen an die Technik des City-Maut Systems. Da die städtischen Gegebenheiten variieren, müssen die Systeme entsprechend angepasst werden können.⁸⁷

⁸⁵ Sammer G. 2012. *Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität* Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden S. 482 f.

⁸⁶ Steininger K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz S. 60 ff.

⁸⁷ Leihls D., Siegl T., Hartmann M., 2014. *City-Maut - Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen*, Springer Vieweg, Wiesbaden S. 39

Folgende Technologien erlauben Anpassung an die die städtischen Gegebenheiten und erfüllen die Anforderungen an die Zuverlässigkeit zu allen Umwelt- und Verkehrsbedingungen. Neben der infrastrukturseitigen Erfassung ist auch ein Zentralsystem, für die kommerziellen und operativen Aufgaben nötig.

4.2.1 Automatische Kennzeichenerkennung (ANPR)

Bei der automatischen Kennzeichenerfassung, Automatic Number Plate Recognition (ANPR), werden Kennzeichenkameras straßenseitig montiert. Diese fotografieren die Kennzeichen aller vorbeifahrenden Fahrzeuge. Mithilfe optischer Zeichenerkennung, Optical Character Recognition (OCR), werden die aufgenommenen Kennzeichenbilder zur Fahrzeugidentifizierung verwendet. Die automatische Kennzeichenerfassung eignet sich für unterschiedliche Regulierungsmaßnahmen und automatisches Enforcement⁸⁸, bei dem die Durchsetzung der Maut ohne weiterem manuellen Aufwand möglich ist. Automatisches Enforcement senkt die Anzahl von nicht-regulierungskonformen Fahrzeugen und identifiziert diejenigen, die sich nicht regelkonform verhalten, da sie bei einer Passage der Zonengrenze automatisch identifiziert werden. Die operativen Kosten werden reduziert und die Effizienz des Systems erhöht.^{89 90}

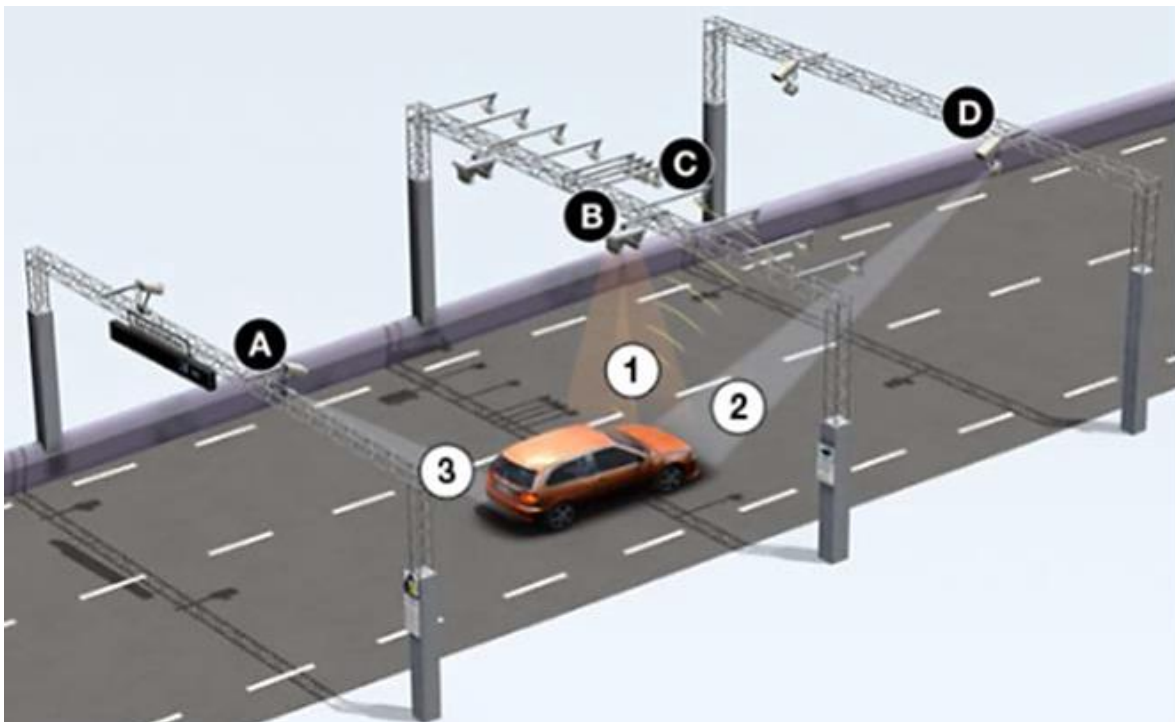


Abbildung 11: Identifikationsablauf eines ANPR-Systems⁹¹

⁸⁸ Mauteinnahmen gegenüber nicht regelkonformen Verhalten durchsetzen

⁸⁹ Leihns D., Siegl T., Hartmann M., 2014. City-Maut - Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen, Springer Vieweg, Wiesbaden S. 74 f.

⁹⁰ Manzi, L. 2015. Study on "State of the Art of Electronic Road Tolling", MOVE/D3/2014-259 S. 26

⁹¹ Quelle: Manzi, L. 2015. Study on "State of the Art of Electronic Road Tolling", MOVE/D3/2014-259 S. 26

Abbildung 11 zeigt den Identifikationsvorgang eines Fahrzeuges mittels Kennzeichenerkennung. Die Fahrzeuge werden an jedem Kontrollpunkt per ANPR registriert und identifiziert. Ein Fahrzeug, das durch einen Kontrollpunkt fährt, wird von einem Laser (1) erkannt. Dieser löst die Kameras aus, die ein Bild des vorderen (2) und hinteren (3) Nummernschildes aufnehmen und das Kennzeichen des Fahrzeugs identifizieren. Die an den Kontrollstellen registrierten Informationen (Datum, Uhrzeit, Kontrollstelle, Kennzeichen und Betrag) und der getroffene Abgabenbescheid werden gespeichert, bis die Abgabe bezahlt und die Bearbeitung abgeschlossen ist. Der Vorteil dieses Systems besteht darin, dass in den Fahrzeugen keine Zusatzausrüstung installiert werden muss.

4.2.2 Dedicated Short Range Communication (DSRC)

Ein weiteres System zur dynamischen Gebührenerhebung ist die Erfassung mittels Nahbereichskommunikation/Kurzstreckenfunk, Dedicated Short Range Communication (DSRC). Dieses System nutzt zur Fahrzeugerkennung bi-direktionale Funkwellenkommunikation zwischen einer straßenseitigen und einer fahrzeugseitigen Sende- und Empfangseinheit und unterscheidet sich dadurch grundlegend von der automatischen Kennzeichenerfassung. Es müssen zusätzlich Fahrzeuggeräte, On-Board Unit (OBU) bzw. Transponder, mit einem Speicherchip, der einen fahrzeugbezogenen Identifikationscode besitzt, an der Windschutzscheibe der Fahrzeuge installiert werden. Neben den OBUs sind auch Empfänger und Sendeeinheiten auf Infrastrukturseite notwendig, um eine drahtlose Kommunikation zu ermöglichen. Diese werden an sogenannten Überkopfbrücken angebracht, welche für eine lückenlose Erfassung an jeder Zu- und Abfahrt errichtet werden müssen. Beim Passieren eines Mautportals kommuniziert die OBU mit der auf dem Mautportal installierten Empfangsstation und gibt per Richtfunk die Fahrzeugdaten bekannt. Um das automatische Enforcement von Fahrzeugen ohne installierte Fahrzeuggeräte zu gewährleisten, benötigen DSRC Systemvarianten jedoch zusätzlich noch weitere straßenseitige Infrastruktur, wie bspw. Kennzeichenkameras. Die DSRC-Technik hat sich in Städten, wie in Rom und Kopenhagen, bewährt. Vorteil dieser Technik ist eine Fahrzeugerkennung, ohne den Verkehrsfluss zu stören. Die Aufstellung der Mautportale für DSRC-Technik als auch für die Kennzeichenerkennung ist jedoch mit erheblichen Investitionen verbunden und zudem beeinträchtigen die Mautportale das Stadtbild.^{92 93 94}

4.2.3 Satellitenortung- Globales Navigationssatellitensystem (GNSS)

Neben DSRC-Systemen werden auch satellitengestützte Systeme, sogenannte Global Navigation Satellite Systeme (GNSS), zur dynamischen Gebührenerfassung herangezogen. Zu den GNSS-Systemen zählt beispielsweise das Global Positioning System (GPS).

⁹² Leihls D., Siegl T., Hartmann M., 2014. *City-Maut - Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen*, Springer Vieweg, Wiesbaden S. 78 ff.

⁹³ Steininger K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz S. 91 f.

⁹⁴ Raub k., Liedtke G., Scholz A. 2011. *Finanzielle Auswirkungen einer Pkw-Maut auf verschiedene Nutzergruppen*, Arbeitspapiere Güterverkehr und Logistik, No. 00, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) S. 30 f.

Satellitengestützte Systeme funktionieren vollkommen autonom ohne straßenseitige Infrastruktur. Jedoch wird eine aufwendigere OBU zur Positionsbestimmung und zur Weitergabe der Fahrzeuginformationen bzw. Fahrerinformationen benötigt. Anhand der Abbildung 12, die das in Deutschland eingesetzten satellitengestützten LKW-Mautsystem zeigt, kann die Funktionsweise einer satellitengestützten Mauterfassung nachvollzogen werden. Die Positionsbestimmung erfolgt über GNSS Empfänger zum Sammeln der Positionen, die Informationsweitergabe mittels Mobilfunknetz-Modul. Die OBU berechnet mit Hilfe der empfangenen Satellitensignale laufend die Position des Fahrzeuges und vergleicht diese mit der digital gespeicherten Straßenkarte. Wird eine virtuelle Mautstelle einer gebührenpflichtigen Straße überfahren, beginnt die Aufzeichnung der im Mautgebiet zurückgelegten Wegstrecke. Die erhobenen Daten über die zurückgelegte Wegstrecke werden zusammen mit den relevanten Fahrzeugdaten mittels Mobilfunks an eine Zentralsystem gesendet. Zum Enforcement wird zusätzlich straßenseitige Infrastruktur benötigt, aber auch zur Positionsbestimmung bei Tunneldurchfahrten ist straßenseitige Infrastruktur notwendig.^{95 96 97}

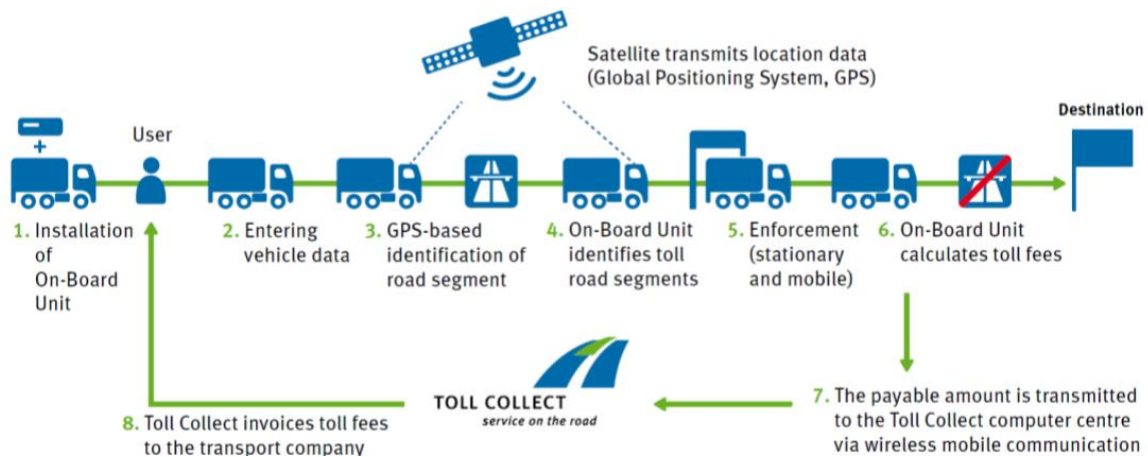


Abbildung 12: Funktionsweise eines satellitengestütztes Lkw-Mautsystem⁹⁸

4.2.4 Zentralsystem

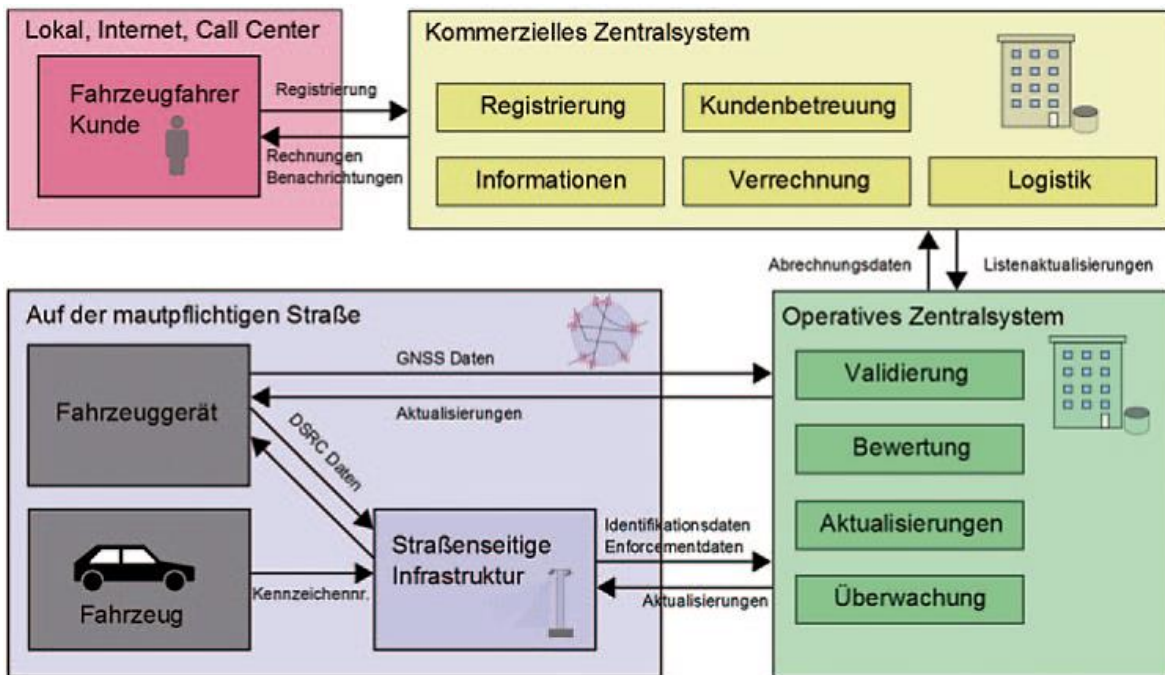
Zusätzlich zur Erfassungstechnik benötigt jede Systemvariante ein Zentralsystem. Die wesentlichen Funktionen des Zentralsystems sind operative und kommerzielle Aufgaben, können sich aber je nach Systemvariante im Detail noch unterscheiden. Abbildung 13 zeigt die Zusammenhänge zwischen Zentralsystem, mit den kommerziellen und operativen Aufgaben, und der straßenseitigen Infrastruktur bzw. der auf der mautpflichtigen Straße verwendeten Technik.

⁹⁵ Manzi, L. 2015. Study on "State of the Art of Electronic Road Tolling", MOVE/D3/2014-259 S. 32 f.

⁹⁶ Kloas, J., Voigt, U. 2007.: Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145 S. 138 f.

⁹⁷ Raub k., Liedtke G., Scholz A. 2011. Finanzielle Auswirkungen einer Pkw-Maut auf verschiedene Nutzergruppen, Arbeitspapiere Güterverkehr und Logistik, No. 00, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) S. 30 ff.

⁹⁸ Quelle: Manzi, L. 2015. Study on "State of the Art of Electronic Road Tolling", MOVE/D3/2014-259 S. 11

Abbildung 13: Schema von Mautsystemen ⁹⁹

- Kommerzielle Aufgaben

Die kommerzielle Funktion umfasst alle Aufgaben, die in direktem Kontakt mit möglichen oder bestehenden Kunden bzw. Mautbetroffenen stehen, insbesondere die Informationsbereitstellung, die Systemregistrierung sowie die Kundenbetreuung. Die Verrechnung ist der zweite große Bereich eines kommerziellen Zentralsystems. Die Verwaltung aller kundenbezogenen Daten ist dabei essenziell. Die Abrechnungsdaten zur Verrechnung von Mautgebühren und Strafen werden vom operativen Zentralsystems zur Verfügung gestellt. Zur Gewährleistung der Transparenz können Abrechnungsdaten neben den zu zahlenden Geldwert auch die Anzahl der Passagen, Einfahrten oder befahrenen Segmente umfassen. Die Bezahlung erfolgt grundsätzlich nach zwei verschiedenen Verfahren. Bei dem Pre-Pay-Verfahren wird die Gebühr direkt von einem Guthaben, das auf der On-Board-Unit durch Aufladen gespeichert ist, abgebucht. Das Post-Pay-Verfahren speichert den Betrag im Zentralsystem und verrechnet den Betrag entsprechend der gewählten Zahlungsart. ^{100 101}

- Operative Aufgaben

Die Validierung und Bearbeitung der über das Erfassungssystem eingehenden Daten gehört zu den weiteren Aufgaben des operativen Zentralsystems. Das Validierungsmodul prüft die erhobenen Daten auf Zahlungspflichtigkeit und tatsächlicher Überquerung, um Falschzahlungen zu reduzieren. Bei Notwendigkeit erfolgt auch eine manuelle Nachbereitung der eingegangenen Daten. Über- bzw. Unterbezahlungen werden erkannt und korrigiert. Teils

⁹⁹ Quelle: Leihls D., Siegl T., Hartmann M., 2014. City-Maut - Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen, Springer Vieweg, Wiesbaden S. 92

¹⁰⁰ Steining K., Gobiet W. 2005. Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich, Wegener Center Verlag, Graz S. 97 ff.

¹⁰¹ Leihls D., Siegl T., Hartmann M., 2014. City-Maut - Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen, Springer Vieweg, Wiesbaden S. 92 f.

werden Validierungsmaßnahmen auch schon von der Erfassungstechnologie übernommen. Eine Verbindung zur lokalen Fahrzeugdatenbank zum Datenabgleich ist meist nur im Zentralsystem integriert. Nach Validierung und Verifizierung der eingegangenen Daten werden diese nach vorliegenden Regulierungen bewertet und in letzter Instanz ein Geldwert zugeordnet. Regulierungen werden auf Basis der Bemessungsgrundlagen der Maut festgesetzt.

Eine weitere Aufgabe des operativen Zentralsystems ist die Aktualisierung, Wartung und die Überwachung des Betriebs der im Erfassungssystem eingesetzten Software. Im operativen Zentralsystem werden auch vorbeugende und korrektive Maßnahmen, zur Gewährleistung des Betriebs, geplant und implementiert. Vorbeugende Maßnahmen sind bspw. regelmäßige Überprüfungen (z.B. Säuberung der Kameralinsen) und Software-Konfigurationen. Zu den korrektiven Maßnahmen gehören die Überwachung des Betriebs der straßenseitigen Infrastruktur durch speziell geschultes Personal und bei Bedarf einen Hardwaretausch oder eine Softwareänderung.¹⁰²

4.3 Grundvoraussetzungen einer City-Maut

Erkenntnisse aus aktuellen implementierten City-Maut Systemen lassen nach dem Prinzip lesson-learned einen Rückschluss auf Grundvoraussetzungen für die Implementierbarkeit einer City-Maut in einer Stadt zu. Eine starke Verkehrsproblematik in der Innenstadt, ein klarer politische Wille und eine zuverlässige Technologie zur Gebührenerhöhung sind grundlegend für die Umsetzungen und den Erfolg einer City-Maut. Dies sind harte Faktoren, die vor einer Einführung einer City-Maut erfüllt sein müssen. In Abbildung 14 werden die Faktoren für eine erfolgreiche Umsetzung einer City-Maut zusammengefasst. Die Voraussetzungen müssen für eine Implementierung erfüllt sein, ohne diese wird eine City-Maut nicht erfolgreich umzusetzen sein. Die Akzeptanz ist grundlegend für den Erfolg einer City-Maut. Sowohl die Bevölkerung als auch das politische Umfeld muss die Maßnahme akzeptieren und unterstützen. Die Erfolgsfaktoren fördern neben der Akzeptanz insbesondere auch die Wirkung einer City-Maut.

¹⁰² Leihls D., Siegl T., Hartmann M., 2014. *City-Maut - Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen*, Springer Vieweg, Wiesbaden S. 93 f.

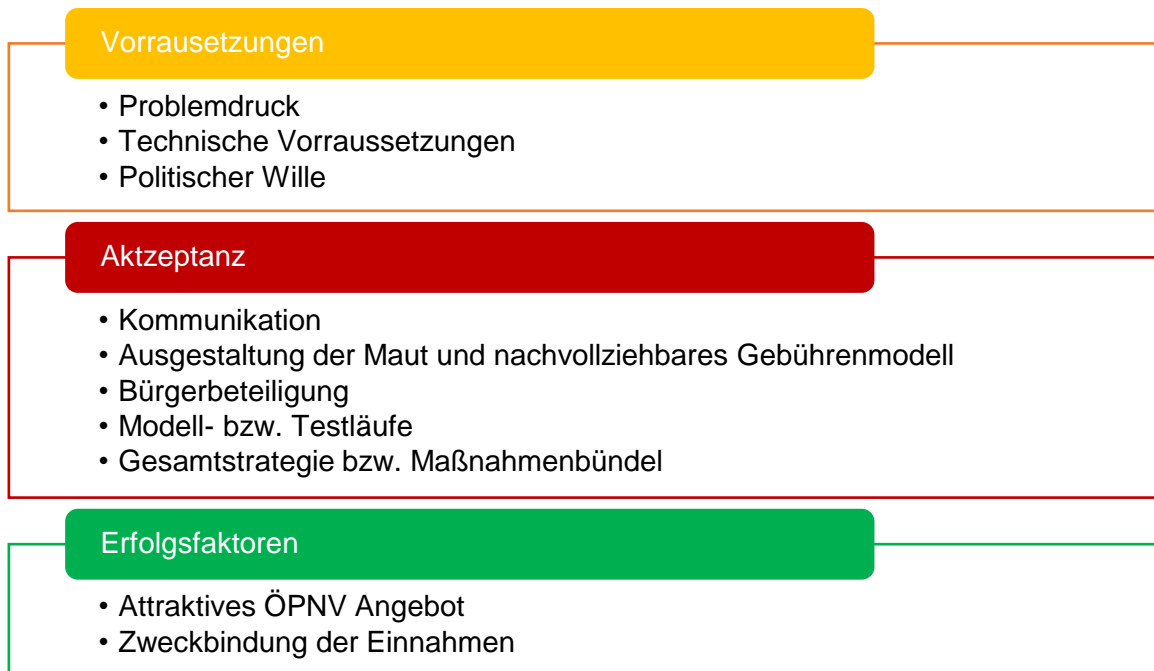


Abbildung 14: Grundvoraussetzungen und Erfolgsfaktoren einer City-Maut ¹⁰³

4.3.1 Problemdruck und geeignete Lösung

Grundlegend für die Einführung einer City-Maut in einer Stadt ist das Vorliegen einer Situation die für die Bevölkerung, Politiker und Interessenvertreter nicht tragbar ist und zum Handeln verpflichtet. Eine Einführung einer Gebührenerhebung sollte immer mit einer Notwendigkeit und einer geeigneten Lösung für das Problem begründet werden können. Problemlagen können das Fehlen von Finanzmitteln für erforderliche Infrastrukturverbesserungen, unzumutbare Verkehrsbedingungen und unzulässige Umweltbelastungen in der Stadt sein. Auch Kombinationen der Problemfelder sind denkbar. Es gibt ein breites Spektrum von Instrumenten zur Infrastrukturinvestition, zur Verkehrssteuerung und für Umweltverbesserungen. Vor diesem Hintergrund sollte daher geprüft werden ob das Problem mit „konventionellen“ Mitteln behoben werden kann, in welchem Maße Road-Pricing zur Bewältigung der Problemlage beitragen kann oder ob die Situation nur mit einer City-Maut konsolidiert werden kann. Beispielsweise können andere Maßnahmen zur Verkehrslenkung, wie die Parkraumbewirtschaftung, ebenfalls wirksam sein und zur Lösung der Problematik beitragen. Sollten andere Maßnahmen unwirksam sein, wie bspw. durch viele kostenfreie Firmenparkplätze bei einer Parkraumbewirtschaftung, kann dies die Einführung einer City-Maut erfordern. Eine Abwägung aller Lösungsmöglichkeiten und Wirkungen unter Einbezug einer Analyse des Problemfalls und der Übertragbarkeit auf diese spezielle Situation ist daher notwendig. Referenzfälle für City-Maut Konzepte werden von vielen europäischen Städten geliefert. Dabei ist zu erwähnen, dass ein vorliegendes drastisches Problem einer

¹⁰³ Quelle: eigene Abbildung

die wichtigsten Faktoren für die Einsicht und Akzeptanz einer City-Maut ist, da für die Betroffenen eine zwingende Notwendigkeit zu erkennen ist.^{104 105}

4.3.2 Technische Voraussetzungen

Die Auswahl der eingesetzten Technologie zur Erfassung der Fahrzeuge bzw. zur Erhebung der Mautgebühren ist maßgeblich für den Erfolg und die Akzeptanz einer City-Maut. Grundsätzlich gilt, die Technik des Erfassungs- und Abrechnungsverfahrens sollte für die Benutzer möglichst unkompliziert in der Bedienung, transparent und zuverlässig sein (vgl. Kapitel 4.2). Fahrzeugerkennung und Gebührenabrechnung sollten zudem ohne Unterbrechung des Verkehrsflusses stattfinden. Geringe Fehlerquoten in der Gebührenberechnung und -abbuchung stärken das Vertrauen in das Mautsystem. Des Weiteren muss auch Mautprellerei erfasst und mit spürbaren finanziellen Strafen geahndet werden. Mautbetroffene müssen die Gebühren für eine bestimmte Fahrt im Voraus einer Fahrt wissen. Moderne Informations- und Kommunikationstechniken ermöglichen flexible Gebührensysteme, welche bei einfacher und nachvollziehbarer Ausführung zusätzlich die Akzeptanz und auch die Lenkungswirkung einer City-Maut erhöhen. Satellitengestützte Systeme sind im städtischen Bereich aufgrund der beschränkten Genauigkeit der GPS-Signale und der Abspannungsprobleme für das Mautgebiet noch nicht anwendungsreif. Im Zuge der eingesetzten Technik muss auch der Aspekt der Privatsphäre bzw. des Datenschutzes thematisiert werden. Insbesondere in Deutschland besitzt der Datenschutz eine hohe Aufmerksamkeit und wird durch das Verfassungsrecht und die Rechtsprechung stark abgesichert. Um die Akzeptanz der City-Maut positiv zu beeinflussen, muss daher sichergestellt sein, dass die Erzeugung und die Nutzung der Daten mit technischen Mitteln nur zum gewollten Zweck erfolgen.^{106 107}

108

4.3.3 Politischer Wille

Für die Einführung und den Erfolg einer City-Maut Maßnahme ist der eindeutige politische Wille unabdingbar. Die Erfahrung in anderen Städten hat gezeigt, dass die Initiative zur Einführung einer erfolgreichen City-Maut von herausragenden Persönlichkeiten bzw. „politischen Champions“ unterstützt und mitgetragen wurden. Geeignete politische Befürworter sind bspw. Bürgermeister einer Stadt. Klare politische Ziele und auch die Bereitschaft das Amt für das Projekt aufs Spiel zu setzen, überzeugten bei bisherigen erfolgreichen Umsetzungen. Die Initiative für die Einführung einer City-Maut sollte von den Städten selbst ausgehen, da Kenntnisse zu der Verkehrssituation vor Ort sowie zu der politischen und

¹⁰⁴ Kloas, J., Voigt, U. 2007.: *Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen*, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145 S. 141

¹⁰⁵ Kossak A. 2008. *Steuerung des städtischen KFZ-Verkehrs- Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen*, Deutsches Institut für Urbanistik GmbH, Berlin S. 50 f.

¹⁰⁶ Leih D., Siegl T., Hartmann M., 2014. *City-Maut - Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen*, Springer Vieweg, Wiesbaden S.73 ff.

¹⁰⁷ Kloas, J., Voigt, U. 2007.: *Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen*, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145 S.141

¹⁰⁸ Kossak A. 2008. *Steuerung des städtischen KFZ-Verkehrs- Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen*, Deutsches Institut für Urbanistik GmbH, Berlin S. 50 f.

gesellschaftlichen Konstellationen unerlässlich sind. Ein Konsens der großen politischen Parteien in einer Stadt sollte angestrebt werden. Größte Herausforderung wird dabei wohl die Enttabuisierung des Themas City-Maut sein. Die politische Führung sollte daher bei der Vorbereitung und Einführung von einer breit aufgestellt Allianz von Organisationen und Personen aus Politik, Verwaltung, Verkehr, Wirtschaft und Umwelt unterstützt werden. City-Maut Initiativen müssen einen Gesetzes- und Verwaltungsrahmen erhalten, der die budgetären und administrativen Rahmenbedingungen festlegt. Großer Widerstand in der Politik ist oft auch auf die Befürchtung, die Einnahmen aus den Staugebühren für weiter Ausbaumaßnahmen verwenden zu müssen und dadurch die nationalen Zuschüsse zu verpassen, zurückzuführen. Die bisherige Finanzierungsmittel sollten nach gleichen Vorgaben erteilt werden, unabhängig von den erhobenen Mautgebühren. Bei bisherigen Projekten, wie bspw. in Stockholm war die Festlegung weiterer Finanzierungen ein Wendepunkt für die politische Unterstützung. Es sollte auch nicht unerwähnt bleiben, dass ein politisches Wagnis auch belohnt werden kann. Ken Livingston, Bürgermeister von London und Befürworter der „London Congestion Charge“ wurde 14 Monate nach Mauteinführung im Amt bestätigt.

109 110 111 112

4.4 Erfolgsfaktoren einer City-Maut

Für die Einführung einer City-Maut ist es essenziell, dass das Instrument von der Bevölkerung akzeptiert und angenommen wird. Betrachtet man die bisherigen umgesetzten City-Maut-Systeme, stellt man fest, dass jede Ausgestaltungsvariante von speziellen Einflussfaktoren geprägt ist. Es lassen sich aber gemeinsame Faktoren und Handlungsempfehlungen, die die Akzeptanz und somit den Erfolg einer City-Maut beeinflussen, ausmachen. Diese Faktoren können zusätzlich auch die Wirkung einer City-Maut verstärken.¹¹³

4.4.1 Akzeptanz

Der entscheidende Faktor für die Einführung und den Erfolg einer City-Maut ist die Akzeptanz der Bevölkerung und damit verbunden auch die Akzeptanz der Politik. Mautgebühren sind insbesondere in Deutschland ein sehr sensibles Thema bei Bürgern und Politikern und stößt zunächst eher auf Ablehnung. Die Schwierigkeit Akzeptanz bei Bürgern und Interessengruppen für eine City-Maut zu erreichen resultiert daraus, dass die vermeintlichen Verlierer bzw. die Nachteile dieses Instruments eindeutiger feststehen als die Gewinner bzw. die Vorteile. Während die motorisierten Verkehrsteilnehmer direkt und individuell von den Gebühren betroffen sind, werden die Vorteile einer Maut (Einnahmen, Reduktion von Staus

¹⁰⁹ Kossak A. 2008. *Steuerung des städtischen KFZ-Verkehrs- Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen*, Deutsches Institut für Urbanistik GmbH, Berlin S. 50 f.

¹¹⁰ Kloas, J., Voigt, U. 2007.: *Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen*, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145 S. 141

¹¹¹ Mietsch F. 2007. *City-Maut - Internationale Erfahrungen, Perspektiven für Deutschland*, Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin S. 24 f.

¹¹² Björjesson M., Kristoffersson I. 2017. *The Swedish Congestion Charges: Ten Years On*, CTS Working Paper 2017:2, Centre for Transport Studies, Stockholm S. 19 f.

¹¹³ Kloas, J., Voigt, U. 2007.: *Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen*, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145 S. 141

und Umweltbelastungen) zunächst dem Staat und der Gesellschaft im Allgemeinen zugeordnet, ohne Berücksichtigung welchen Nutzen jeder Einzelne durch eine City-Maut hat. Als wesentliche Ursachen für eine niedrige Akzeptanz wurden in Edinburgh und Manchester folgende Gründe benannt:

- Unklarheiten über die Mautregelung
- zu geringe Stauungsproblematik im Alltag
- Zweifel an Wirksamkeit der Maut zur Staureduktion
- starke negative Pressekampagnen
- Mangel an Vertrauen in die Politik (Einnahmen werden widmungsfremd verwendet)
- City-Maut wird als unsozial eingestuft und verstößt gegen den räumlichen und sozialen Gleichheitsgrundsatz
- Autofahrer sind die eigentlichen Opfer des Staus

Bei einer geplanten Einführung einer City-Maut sollte daher der Fokus auf die genannten Punkte gelegt werden. ^{114 115 116}

In realisierten und teils auch sehr erfolgreichen City-Maut Systemen (Bergen, Trondheim, Oslo und Stockholm) wurden Akzeptanzmuster mittels Langzeitbeobachtungen erhoben. Es zeigt sich keine einheitliche Tendenz sowohl im Planungszeitraum als auch im Betriebszeitraum. Unterschiedliche Entwicklungen, wie z.B. lokalpolitische Einflüsse im Planungsprozess bis hin zu von Veränderungen des Systems (Gebührenerhöhungen, Vorschläge für Mautbereichsausweitungen) während der Betriebszeit, wirken sich auf die Akzeptanz der Bevölkerung sowohl positiv als auch negativ aus. Die maximale Zustimmungsrate in Stockholm belief sich auf 72 Prozent. ^{117 118}

Eine hohe Zustimmung wird durch offene und differenzierte Kommunikation gefördert. Die Problemlage sowie Ergebnisse von Voruntersuchungen bzw. Machbarkeitsstudien und dem Monitoring während des Betriebs müssen offensiv und, nach Problemlage bzw. ortsspezifischen Bedingungen differenziert, an Politik und Öffentlichkeit kommuniziert werden.

¹¹⁴Kloas, J., Voigt, U. 2007.: Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145 S. 141

¹¹⁵ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München S. 18

¹¹⁶ Sammer G. 2012. Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden S. 488 f.

¹¹⁷ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München S. 29 ff.

¹¹⁸ Sammer G. 2012. Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden S. 488 f.

Die notwendige Kommunikationsstrategie sollte sich auf die Art und das Ausmaß der Problemlage, die Handhabung des Mautsystems, die Zielerreichung und auf generelle und ortsspezifische Gegenargumentationen konzentrieren.

Ziele, Ausgestaltung und das Gebührensystems müssen mit ausreichendem zeitlichem Vorlauf vor Mauteinführung unter Einbeziehung der Medien kommuniziert werden. Forschungs- und Arbeitsgruppen sollten zusätzlich eingesetzt werden, um Vorschläge für ein umsetzbares Gebührenmodell aufzustellen. Anfangs empfiehlt sich ein unkompliziertes Gebührenschemata zum einfachen Verständnis der Gebühren. Die Auslegung der Gebührenhöhe ist ein weiterer wesentlicher Faktor, der die Akzeptanz bei der Bevölkerung begünstigt bzw. beeinträchtigt. Außerdem könne auch Ausnahmen die Akzeptanz der Maut in der Bevölkerung erhöhen, die Erfahrungen zeigten jedoch, dass Ausnahmen dem Ziel der Verkehrsreduzierung entgegenwirken. Ausnahmen und Sonderregelungen sollten daher nur für spezielle Gruppen, wie bspw. bestimmte Fahrzeugtypen oder Fahrzeuge mit umweltfreundlichen Antriebstypen, gelten. Eine Lenkungswirkung kann auch über solche Regelungen verstärkt werden.

Neben der Kommunikation spielt auch eine Beteiligung der Bürger für die Akzeptanz einer City-Maut eine wichtige Rolle. Die Betroffenen einer Maut können ihre Kritik, Ideen und Vorschläge miteinbringen und bei der Ausgestaltung der Maut mitwirken. Zudem sind Bürgerbeteiligungen auch gute Kommunikationsplattformen. Die sollte professionell und politisch überzeugend ablaufen. ^{119 120 121 122}

Tabelle 13 zeigt die Präferenzen für die Formen der Mitbestimmung bei Einführungen von PKW-Road-Pricing Maßnahme. Bürgerbeteiligungen bieten zudem die Möglichkeit die lokale Geschäftswelt im Mautgebiet zu Rate zu ziehen und für sich zu gewinnen. Dies hat sich schon bei der Einführung von Fußgängerzonen bewährt und sollte für City-Maut-Konzepte ebenfalls genutzt werden.

Tabelle 13: Präferenzen für Bürgerbeteiligungsformen ¹²³

informationsorientierte Maßnahmen	Häufigkeit	entscheidungsorientierte Maßnahmen	Häufigkeit
Informationssendungen in Radio und Fernsehen	64,8 %	Volksabstimmung über Gesetzesvorlage	90,1 %
Zusenden von Informationsbroschüren	48,4 %	Unterschriftenlisten, Volksbegehren	61,5 %
Informationsabend, bei dem ExpertInnen Fragen aus dem Publikum beantworten	33,0 %	runder Tisch, bei dem mit den politisch Verantwortlichen diskutiert wird	38,5 %
Informationen und Diskussionsformen im Internet	24,2 %		

¹¹⁹ Mietsch F. 2007. *City-Maut - Internationale Erfahrungen, Perspektiven für Deutschland*, Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin S. 42 f.

¹²⁰ Kossak A. 2008. *Steuerung des städtischen KFZ-Verkehrs- Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen*, Deutsches Institut für Urbanistik GmbH, Berlin S. 50 f.

¹²¹ Kloas, J., Voigt, U. 2007.: *Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen*, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145 S. 141

¹²² Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wölfl A. 2020. *Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München*, ifo Institut, München S. 29 ff.

¹²³ Quelle: Steining K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz S. 186

Im Zuge der Implementierung haben sich die Einführungsstrategien mit Testlauf und anfänglicher Zeitbegrenzung bzw. eine Schritt-für-Schritt Einführung bewährt. Norwegische Mautringe oder auch der Testlauf in Stockholm sind diesbezüglich erfolgreiche Beispiele. Ist die Fortführung einer Gebührenerhebung explizit an das Erreichen der anfangs klar definierten Ziele geknüpft, kann dies die Akzeptanz für die Maßnahme erhöhen und somit die Einführung erleichtern. Mit einem Testlauf wird die Erreichung der Zielsetzung durch die City-Maut für alle Betroffenen verdeutlicht und dadurch Vorbehalte gegenüber einer City-Maut abgebaut. Die City-Maut Systeme in Stockholm und Mailand wurden durch ein Referendum nach einer Testphase eingeführt. In Stockholm haben sich mit 53 Prozent (vorher 34 Prozent) für die City-Maut entschieden. Anhand dieser Ergebnisse lässt sich ableiten, dass Testläufe und das Sammeln von Erfahrungen positiven Einfluss auf die Akzeptanz einer City-Maut haben.

Die City-Maut sollte in eine Gesamtstrategie bzw. Maßnahmenbündel, das die Lösung der Problemlage in der Stadt als Ziel hat, integriert werden. Eine Verbesserung des ÖPNV-Angebots würde bspw. in einer Stadt nicht allein reichen, um die Problemlage der vielen Staus zu beheben. Gemeinsam mit einer City-Maut ist eine ausreichende Lenkungswirkung erreichbar. Manche Maßnahmen werden durch erst durch eine City-Maut möglich, ohne eine City-Maut sind manchen Maßnahmen nicht bezahlbar und daher auch unerreichbar. Machbarkeitsstudien und Planungsvarianten sollten für die Zusammensetzung der Maßnahmen als Grundlage dienen. Die City-Maut ist somit Teil einer auf mehreren Säulen aufgebauten Gesamtstrategie.^{124 125}

4.4.2 Weitere Erfolgsfaktoren

Eine Zweckbindung des Gebührenaufkommens durch die City-Maut muss für die die Akzeptanz des Instruments eindeutig und gesichert festgesetzt werden. Die generierten finanziellen Mittel sollten ausschließlich in die Konsolidierung des Problems, weshalb die Gebührenerhebung eingeführt worden ist, fließen. Dadurch wird der Preis der Maut auch als Gegenleistung für die Lösung des grundlegenden Problems empfunden. Zusätzliche finanzielle Belastungen durch die Maut sind sonst nicht vertretbar und politisch auch nicht durchsetzbar. Zur Akzeptanzförderung sollten Verpflichtungen, die Einnahmen aus der Staugebühr zu einem bestimmten Anteil in den Ausbau und die Verbesserung des ÖV zu investieren, getroffen werden. Als Orientierung zur Verteilung der Mauteinnahmen können Befragung im Rahmen einer Bürgerbeteiligung dienen. Kommt es zu einer nicht zweckgebundenen Reinvestition der Einnahmen kann die Akzeptanz der City-Maut erheblich sinken. Aus diesem Grund muss bei der Gebührenverwendung auf Transparenz geachtet werden.

^{126 127}

¹²⁴ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München S. 4 ff.

¹²⁵ Kossak A. 2008. Steuerung des städtischen KFZ-Verkehrs- Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen, Deutsches Institut für Urbanistik GmbH, Berlin S 141 f.

¹²⁶ Kossak A. 2008. Steuerung des städtischen KFZ-Verkehrs- Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen, Deutsches Institut für Urbanistik GmbH, Berlin S. 50 f.

¹²⁷ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München S. 4 f

Ein attraktives und leistungsfähiges Angebot des ÖPNV steigert den Anreiz auf den ÖPNV umzusteigen und damit die Wirkung und den Erfolg einer City-Maut. Bei der Einführung einer City-Maut muss darauf geachtet werden, dass ausreichend Kapazitäten bei den alternativen Verkehrsmitteln für eine Mobilitätsänderung zur Verfügung stehen. Eine zweckgebundene Investition der Mauteinnahmen in den ÖPNV kann die verkehrslenkende Wirkung zusätzlich noch erhöhen. Eine attraktive und geeignete Alternative zum Auto kann bei jedem Einzelnen die Akzeptanz einer City-Maut erhöhen. Das Maßnahmenbündel im Zusammenhang mit der Einführung einer City-Maut muss daher zwingend die Förderung des öffentlichen Verkehrs sowie Investitionen in Fahrrad- und Fußgängerinfrastruktur beinhalten. Im Optimalfall wird damit schon vor der Einführung der City-Maut begonnen, um die positiven Effekte bereits mit Einführung der Maut zu nutzen.^{128 129 130}

Auch städtebauliche und verkehrliche Voraussetzungen wirken sich auf den Erfolg einer City Maut aus. So stellt sich eine monozentrische Stadtstruktur mit starken Ein- und Auspendelströmen vorteilhaft für eine City-Maut dar. Die monozentrische Struktur vereinfacht das City-Maut Konzept bei der Umsetzung der Maut, da bei polyzentrischen Strukturen eine höhere Variabilität an Einflussfaktoren besteht und sich eine unkomplizierte Ausgestaltung der Maut als schwierig erweist. Bei starken Ein- und Auspendelströmen hat eine City-Maut eine besonders starke Wirkung in Bezug auf Verkehrslenkung bzw. Verkehrsreduzierung. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich, da Städte mit anderen Stadtstrukturen und verkehrlichen Voraussetzungen ebenfalls erfolgreich eine City-Maut einführen können.¹³¹

4.5 Ausgestaltung der Maut in Nürnberg

Ziel der City-Maut in Nürnberg (in dieser Arbeit) ist die Reduktion der MIV-Verkehrsnachfrage, eine Verkehrslenkung und die Steigerung des Umweltverbundes, bestehend aus Fuß- und Radverkehr sowie den öffentlichen Verkehrsmitteln. Unter Berücksichtigung der Zielsetzung wird die Entscheidungen der Ausgestaltung der Maut in Abhängigkeit der Nürnberger Voraussetzungen und getroffen. Dabei stehen folgende Bemessungsgrundlagen und Aspekte im Mittelpunkt:

- Mautgebiet

Bei dem betrachteten City-Maut-Konzept für Nürnberg handelt es sich um eine Flächenmaut. Das Mautgebiet erstreckt sich über alle Straßen innerhalb des Rings der Bundesstraße 4R. Es werden demzufolge Fahrten in und aus dem Mautgebiet bepreist und auch Fahrten innerhalb des Mautgebiets. Bei einer Ringgebühr würden nur die Ein- und Ausfahrten in das Mautgebiet bepreist werden. Die Mautgebühr in Nürnberg hat sowohl das Ziel den Pendelverkehr als auch den Binnenverkehr, insbesondere kurze Innenstadtfahrten, zu

¹²⁸ Kloas, J., Voigt, U. 2007.: *Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen*, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145 S. 141

¹²⁹ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wölfl A. 2020. *Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München*, ifo Institut, München S. 4 f.

¹³⁰ Erdmenger C., Dr. Hoffmann C., Lambrecht M. Wlodarski W. 2010. *PKW-Maut in Deutschland? Eine umwelt- und verkehrspolitische Bewertung*, Umweltbundesamt S. 14

¹³¹ Erdmenger C., Dr. Hoffmann C., Lambrecht M. Wlodarski W. 2010. *PKW-Maut in Deutschland? Eine umwelt- und verkehrspolitische Bewertung*, Umweltbundesamt S. 14

reduzieren. Begründet ist diese Entscheidung damit, dass knapp 40 Prozent des Kfz-Verkehrs in Nürnberg innerhalb des Stadtgebiets stattfindet und somit maßgeblich zu den Verkehrsaufkommen und Verkehrsbedingungen in Nürnberg beiträgt. Eine Lösung nach dem Ringprinzip würde aus diesem Grund an einem großen Anteil des Verkehrs in Nürnberg vorbeiziele.

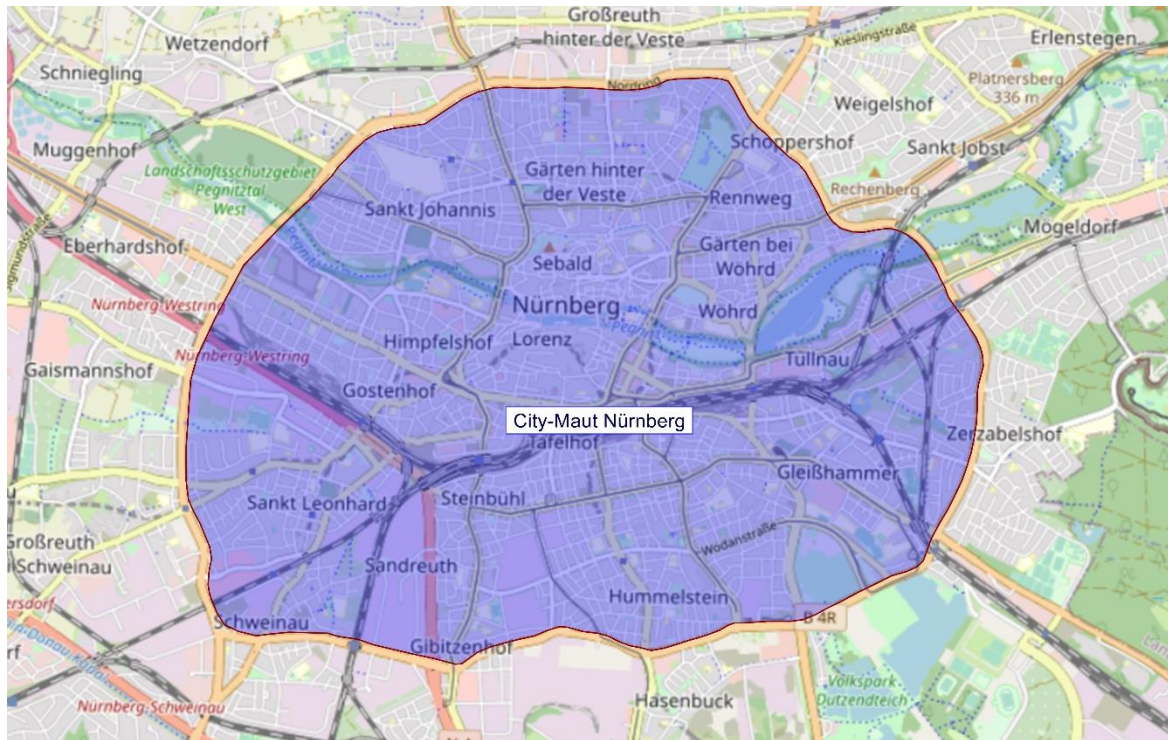


Abbildung 15: Mautgebiet von Nürnberg ¹³²

Innerhalb dieser Zone liegen die Innenstadt und deren zahlreichen Sehenswürdigkeiten, viele Einkaufsmöglichkeiten und eine Großzahl der Arbeitsplätze Nürnbergs. Die City-Maut soll dadurch Einfluss sowohl auf den Pendelverkehr als auch auf den Freizeit- und Einkaufsverkehr nehmen. Eine kleinere Gebührenfläche, die bspw. lediglich die Innenstadt umfasst, würde die Wirkung der City-Maut schmälern. In Abbildung 16 sind die Tagesganglinien am Außenkordon dargestellt. Die gezählten Fahrzeuge werden in Halbstundenwerten aufgeführt. Anhand des Diagramms lassen sich die ausgeprägten Verkehrsspitzen morgens und nachmittags gut ablesen. Anhand ihrer Ausprägung kann auf einen hohen Anteil von Ein- und Auspendlern geschlossen werden. Dies begründet ebenfalls die Wahl der Ausdehnung des Mautgebiets, da auf diese Pendlerströme somit auch Maut erhoben wird. Zudem hat diese Abgrenzung des Mautgebiets den Vorteil, das betroffene Gebiet leicht und eindeutig zu vermitteln. Die gesamte bepreiste Fläche verfügt über ein umfassendes ÖPNV-Netz/ -Angebot und damit über ausreichende Kapazitäten, um den Verkehr der umsteigenden Verkehrsteilnehmer im Zuge einer möglichen Lenkungswirkung aufzufangen.

133 134

¹³² Quelle: eigene Abbildung aus PTV Visum

¹³³ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wölfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München S. 24

¹³⁴ Stadt Nürnberg Planungs- und Baureferat, Verkehrsplanungsamt, 2020. VERKEHRSZÄHLUNG 2019 S. 3 ff.

City-Maut

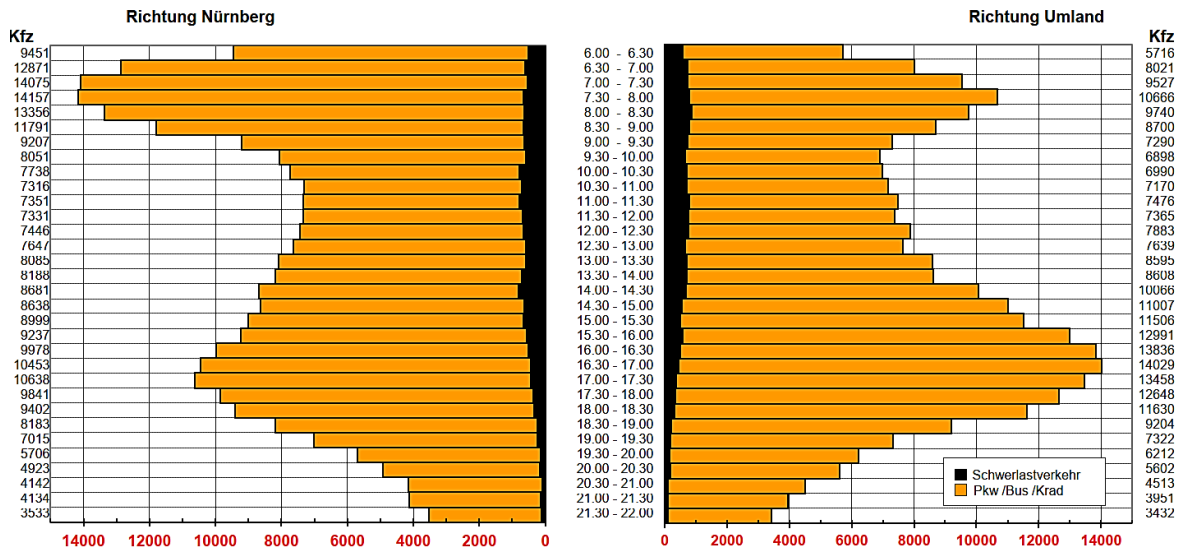


Abbildung 16: Tagesganglinien im Außenkordon ¹³⁵

- Eingesetzte Technik

Grundsätzlich sind sowohl die Kennzeichenerfassung als auch das DSRC-System für eine City-Maut geeignet. Satellitengestützte Systeme sind aufgrund ihrer Ungenauigkeit für das Nürnberger City-Maut Konzept ungeeignet. Bevorzugtes System ist die Kennzeichenerkennung, da sie alle gebührenpflichtigen Fahrzeuge ohne zusätzliche OBU zuverlässig und automatisch erkennt. Die Auswahl des eingesetzten Systems muss jedoch im Falle einer Umsetzung detailliert geprüft werden, da auch wirtschaftliche Aspekte, wie bspw. die Investitionskosten, berücksichtigt werden müssen.

- Mautpreis

Bei der Bestimmung des Mautpreises wurden im speziellen der Stau bzw. die Zeitkosten berücksichtigt, da eine hohe Verkehrsdichte bzw. gestaute Verkehrsbedingungen ein wesentliches Problem im Nürnberger Stadtgebiet darstellen. ¹³⁶ In Kapitel 2.4 wurde unter Berücksichtigung der Staugrenzkosten bzw. der Zeitgrenzkosten ein Mautpreis von 0,94 Euro pro Fahrt bzw. Fahrzeug ermittelt, um diese Kosten zu internalisieren. Berücksichtigt man zur Bestimmung einer Tagespauschale die durchschnittlichen Ortsveränderungen einer Person am Tag von 3,68, erhält man einen Betrag von gerundet 3,50 Euro pro Tag. In diesen Mautpreisen sind nur die Zeitkosten bzw. Staukosten zur Reduzierung der Verkehrsnachfrage berücksichtigt worden. ¹³⁷

- Arten der Differenzierung/Bemessungszeitraum

Das City-Maut Konzept für Nürnberg hat die Reduktion der Verkehrsnachfrage des MIV als Ziel. Der Bemessungszeitraum der Maut ist ganztags an den Werktagen von Montag bis

¹³⁵ Quelle: Stadt Nürnberg Planungs- und Baureferat, Verkehrsplanungsamt, 2020. VERKEHRSZÄHLUNG 2019 S. 13

¹³⁶ INRIX 2021. <https://inrix.com/scorecard-city/?city=Nuremberg&index=85>

¹³⁷ Christensen L., Kuhnimhof T., Hubert J., Schulz A., Kagerbauer M., Sobrino N. 2014. Improving comparability of survey results through ex-post harmonization – a case study with twelve European national travel surveys, 123 Paper for ISTSC in Sydney 16.-21. November 2014 - Workshop 6 S. 10

Freitag und wird als Tagespauschale erhoben. Am Wochenende wird keine Maut erhoben. Dies ist mit einer generell niedrigeren Verkehrsnachfrage am Wochenende zu begründen. Aus Gründen der Verkehrslenkung wäre eine Differenzierung der Mautpreishöhe in Abhängigkeit der Tagesganglinien denkbar. Dadurch lässt sich der Verkehr auf Zeiträume mit niedrigerer Verkehrsnachfrage verlagern und Stauspitzen reduzieren. Anhand der Tagesganglinien in Abbildung 16, wären Zeiträume für eine höhere Gebühr von 6:30 Uhr bis 9:00 Uhr und von 15:30 Uhr bis 18:30 Uhr geeignet. Da aber generell die Verkehrsnachfrage reduziert werden soll und die Verkehrsteilnehmer auf den ÖV umsteigen sollen, wird von einer Differenzierung im Tagesverlauf abgesehen. Die Nutzer würden nicht auf die Fahrt mit dem Auto verzichten, sondern eher zu einer anderen Uhrzeit fahren. Der MIV-Verkehr verlagert sich daher nur auf andere Zeiträume und geht insgesamt nicht zurück. Erwähnt sei zudem noch, dass auch außerhalb der Verkehrsspitzen eine hohe Nachfrage des MIVs besteht und der Verkehr nicht sehr stark zurückgeht. Über die Hälfte (ca. 55 %) des Verkehrsaufkommens in Nürnberg (von 6:00 Uhr - 22:00 Uhr) findet außerhalb der Verkehrsspitzen statt. Betrachtet man den Binnenverkehr Nürnbergs so stellt man fest, dass der Verkehr innerhalb Nürnbergs im Tagesverlauf gleichmäßig verteilt ist. Abbildung 17 zeigt die Tagesganglinien an den Pegnitzbrücken, die als Indikator für den Binnenverkehr angesehen werden. Die weniger stark ausgeprägten Verkehrsspitzen begründen zudem die Entscheidung der Maut im Tagesverlauf nicht zu differenzieren. Auch von weiteren Differenzierungen, z.B. nach Fahrzeugklassen, wird abgesehen, da das Gebührensystem verständlich und fair gehalten werden soll, um eine hohe Akzeptanz in der Bevölkerung zu erzielen.

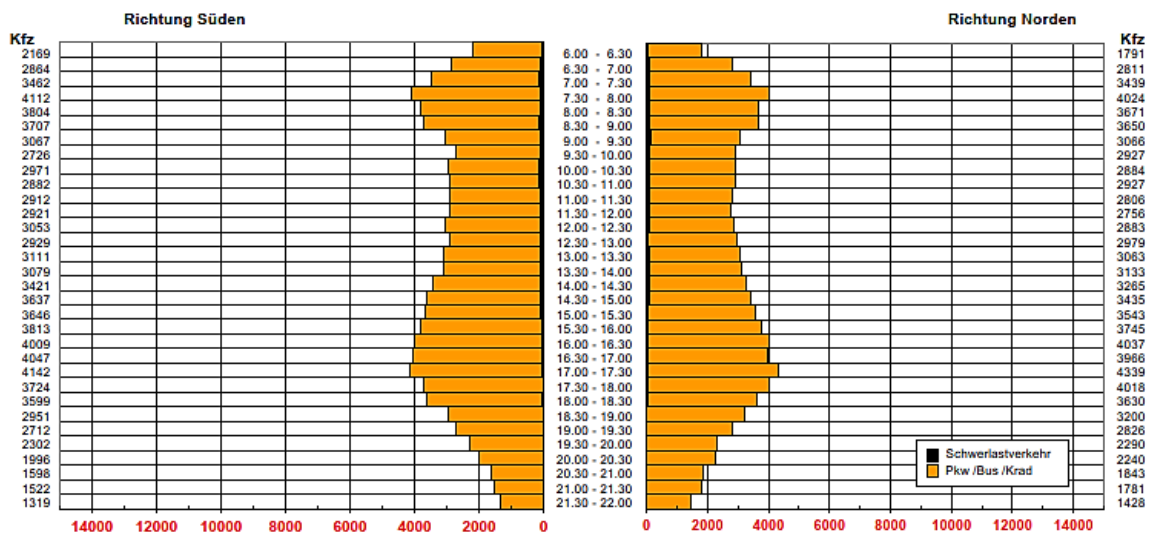


Abbildung 17: Tagesganglinien Pegnitzbrücken ¹³⁸

- Ausnahmen

Grundsätzlich gibt es keine Ausnahmen bei der Gebührenerhebung. Die Maut gilt für alle motorisierten Fahrzeuge des fließenden Verkehrs. Erfahrungen aus bereits eingeführten Mautsystemen in anderen Städten ergaben dass Ausnahmen die Lenkungswirkung der Maut

¹³⁸ Quelle: Stadt Nürnberg Planungs- und Baureferat, Verkehrsplanungsamt, 2020. VERKEHRSZÄHLUNG 2019 S. 14

abgeschwächt haben. Dies soll durch eine strikte Durchsetzung der Maut für alle Bevölkerungsgruppen vermieden werden. Einzig Menschen mit Behinderung, die auf ein Fahrzeug angewiesen sind und nicht auf den ÖV umsteigen können, sind wie auch Notfallwagen bzw. Fahrzeuge des Staates von der Maut ausgenommen.¹³⁹

¹³⁹ Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wölfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München S. 30

6. Modellierung City-Maut Nürnberg

Zur Verkehrsmodellierung der City-Maut Nürnberg wird als Grundlage das DIVAN-Modell¹⁴⁰ herangezogen. Das DIVAN-Modell enthält eine maßnahmensensitive Verkehrserzeugung für die Verkehrssysteme ÖPNV und MIV. Ebenso verfügt es über ein multimodales Netzmodell für den ÖPNV und den MIV. Es beinhaltet alle Strukturgrößen und Strecken der Stadt Nürnberg und der umliegenden Städte, wie Fürth und Erlangen. Die Verkehrsnachfrage für den MIV und den ÖV wird mit Nachfrageobjekten, wie bspw. den Strukturgrößen, erzeugt. Das Modell berechnet die Verkehrsnachfrage für den MIV und den ÖV anhand des EVA-Personen Modells. Die Berechnung des Quell- und Zielaufkommen der Verkehrszellen/Bezirke erfolgt auf Basis demographischer und struktureller Größen (Einwohner, Arbeitsplätze etc.) sowie auf Basis spezifischer Einflussgrößen des Verkehrsverhaltens (Mobilitätsraten).

6.1 Implementation der Mautwiderstände

Zur Analyse der verkehrlichen Auswirkung einer City-Maut müssen die Maut bzw. die Widerstände der Maut in das Verkehrsmodell implementiert werden. Um eine ganzheitliche Berücksichtigung der Maut zu gewährleisten, müssen diese mautspezifischen Widerstände bei der Verkehrserzeugung, der Verkehrsverteilung, der Verkehrsmittelwahl und der Routenwahl berücksichtigt werden, da die Maut sich auf alle Stufen des Verkehrsverhaltens auswirkt.

Im Allgemeinen handelt es sich bei Mautsystemen in der Verkehrsmodellierung um Netzobjekte, mit denen man Mautzonen bzw. Gebühren in das Netz Modell eingeben kann. In PTV Visum wird zwischen drei unterschiedlichen Mautmodelltypen differenziert:

- Flächenmaut
- Streckenmaut
- und Matrixmaut.

Bei der in Rahmen dieser Arbeit zu modellierenden City Maut in Nürnberg handelt es sich um eine Flächenmaut. Dazu wird ein geografisch zusammenhängender Teil des Netzes als Mautgebiet ausgewiesen. Im Nürnberger Streckennetz wird eine Maut für alle Strecken innerhalb des „Rings“ der B4R eingepflegt. Die B4R selbst gehört nicht zum Mautgebiet. Für alle gebührenpflichtigen Routen wird eine Maut für die Verkehrssysteme PKW und LKW in Höhe von 0,94 Euro festlegt.

¹⁴⁰ Datenbasis für intermodale Verkehrsuntersuchungen und Auswertungen im Großraum Nürnberg

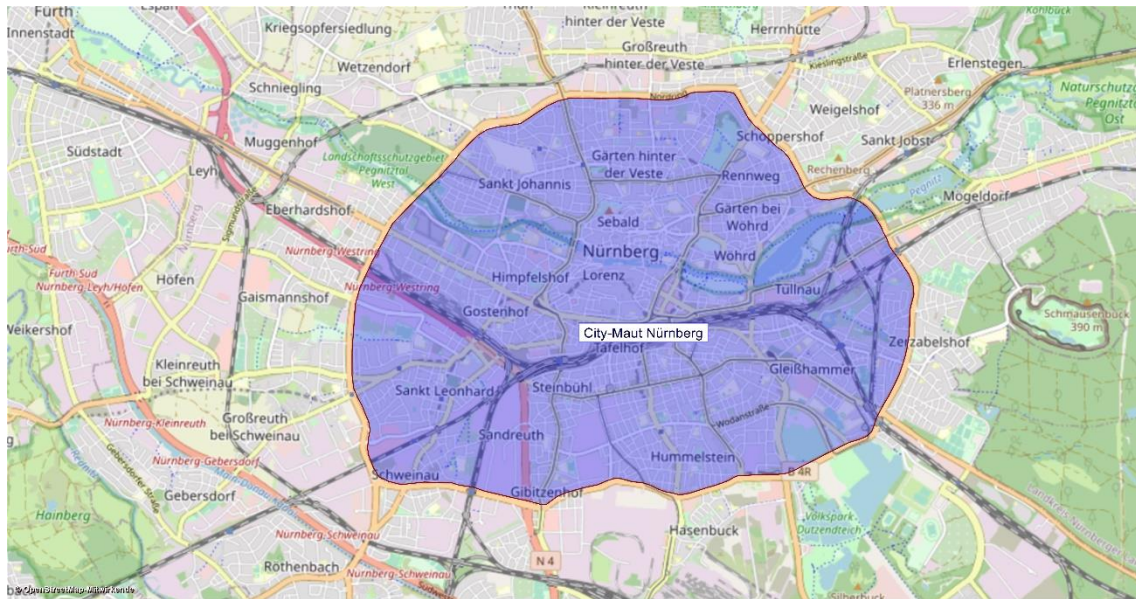


Abbildung 18: Fläche der City-Maut in Nürnberg ¹⁴¹

6.1.1 Nachfragemodell EVA-Personen

Die Nachfragemodellierung erfolgt über das EVA-Personen Modell. Anhand des Nachfragemodells und der Kenngrößenmatrizen werden die Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsmittelwahl berechnet. Es zeichnet sich durch eine simultane Verkehrsverteilung und Moduswahl aus. Die IV Kenngrößenberechnung berechnet die Reisezeit für alle Bezirksbeziehungen im Verkehrsmodell. Es resultiert eine Reisezeitmatrix (TTC) die die Reisezeiten für jede Quell-Ziel-Beziehung abbildet. Um in die Berechnung der Verkehrsnachfrage den Widerstand der Maut miteinfließen zu lassen wird eine Widerstandsmatrix der Reisezeitenmatrix aufaddiert. Der Reisezeitwiderstand ist somit ein kumulierter Widerstand, aus der Dauer für die Reise und den zusätzlichen Kostenfaktoren. Die Widerstandsmatrix enthält den in Kapitel 2.4 bestimmten Zeitaufschlag von 9 Minuten für alle Verkehrsbeziehungen die einen Bezirk im Mautgebiet als Ziel bzw. als Quelle haben. Der Zeitaufschlag wirkt sich somit sowohl auf den Quell- und Zielverkehr des Mautgebiets als auch den Binnenverkehr und die Modusanteile für jede Quell-Ziel-Beziehung im Mautgebiet aus. Auf diese Weise wird die Maut sowohl bei der Berechnung der Verkehrsnachfrage als auch bei der Moduswahl einbezogen.

6.1.2 Verkehrsteilung/Moduswahl

Der modelltheoretische Ansatz, in dem sich die Moduswahl aus den Einflussgrößen Reisezeit und Entfernung ergibt, wird durch die Additionsmatrix um die Einflussgröße der Mautgebühr erweitert. Um die Veränderung des Modal Split im Zuge der City-Maut zu ermitteln, wird im Verfahrensschritt der EVA-Verteilung/Moduswahl vom Analysemodus mit vorgege-

¹⁴¹ Quelle: Eigene Darstellung PTV Visum

benen Anteilen der Modi in den Prognosemodus gewechselt. Dadurch kann sich die Aufteilung der Modi auf den einzelnen Relationen verändern und sich ein neuer Modal Split unter Berücksichtigung der Maut einstellen.

6.1.3 Umlegung/Routenwahl

Für die Berechnung der Umlegung im Zuge einer City-Maut ist das TRIBUT-Verfahren geeignete, da eine Flächenmaut nur durch das TRIBUT-Lernverfahren berücksichtigt wird. Es ist eine modifizierte Version mit Verfahrensschritten des klassischen Lernverfahrens. Die Widerstandsdefinition für die Bewertung einer Route bzw. für die Routenwahl ist zentrales Merkmal einer Umlegung. Der Widerstand R setzt sich bei Maut-Umlegungen aus der Reisezeit t und den monetären Kosten c zusammen. Der Zeitwert wird durch den VOT beschrieben. Sofern ein Teil einer Route in dem Mautgebiet liegt, wird ein entfernungsunabhängiger Festbetrag/Mautpreis erhoben.

$$R_r = t_r + \frac{c_r}{VOT} = \sum_{L \in r} t_L + \left\{ \frac{c}{VOT} \text{ falls ein } (L \in r) \text{ im Mautgebiet liegt sonst } 0 \right.$$

R_r :	Widerstand Route
t_r	Zeitbedarf Route
c_r :	monetäre Kosten Route
VOT:	Value of Time [€/h]

In klassischen Modellen wird für die Berücksichtigung einer Maut ein konstanter VOT verwendet. Die Kosten bzw. der Mautpreis werden direkt in Zeit umgerechnet und in den klassischen monokriteriellen Umlegungsverfahren angewendet. Das TRIBUT-Verfahren nutzt einen zufallsverteilten VOT (log-normalverteilte Zufallsvariable), dadurch wird zur Routenwahl für jedes Fahrzeug ein individueller VOT angesetzt. Die Ergebnisse aus Kapitel 3.4 bekräftigen die Verwendung eines individuellen VOT für die Routenentscheidung, da die Bewertung der Zeit zwischen Personen individuell variiert. Der VOT, der für Nürnberg in Kapitel 3.5.3 ermittelt wurde, stellt bei der Umlegung mit dem TRIBUT-Lernverfahren den Median dar. Ausgehend von einem Median von 6.25 (VOT Nürnberg entspricht 6,25 €/h) haben 50 Prozent aller Nutzer einen höheren und 50 Prozent einen niedrigeren VOT. Die Umlegung erfolgt bikriteriell mit den zwei separaten Größen Zeit und Kosten. Dadurch wird im Vergleich zum klassischen Ansatz eine deutlich realistischere Preis-Elastizität erzielt. Die monetären Kosten einer Route sind vom Routenverlauf und nicht von den einzelnen überfahrenen Strecken abhängig. Das TRIBUT-Verfahren basiert jedoch, wie jedes Umlegungsverfahren, auf Kurzwegsuchen auf Strecken und benötigt dazu Widerstände pro Strecke. Die Flächenmaut wird daher von TRIBUT auf die Streckenmaut zurückgeführt. Durch das eingefügte Netzobjekt Mautsystem (City-Maut Nürnberg) erhalten alle Strecken des Mautgebiets das Attribut MautsystemNr mit der Nummer des Mautsystems (1) und können so als Mautstrecken identifiziert werden. Für das Mautsystem wird verkehrssystemspezifisch (PKW und LKW) ein fester Mautbetrag von 0,94 € eingestellt.¹⁴²

¹⁴² PTV AG, 2020. PTV Visum 2020 Handbuch, Karlsruhe S. 481 ff.

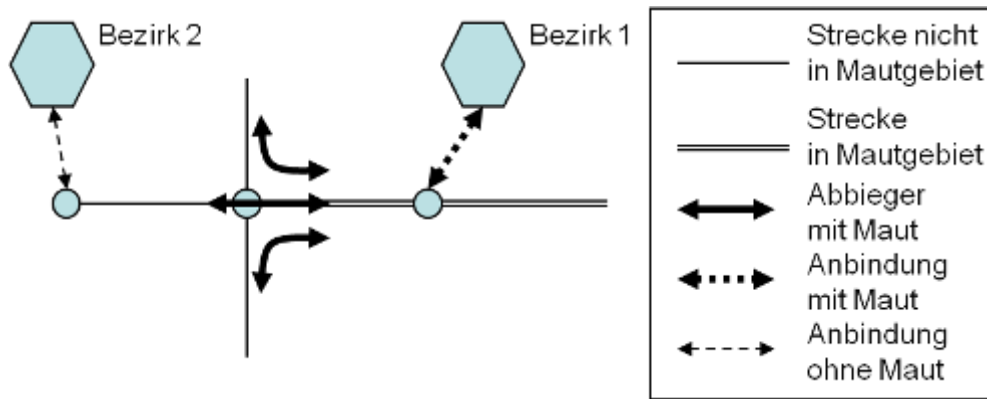


Abbildung 19: Zurückführung von Flächenmaut auf Streckenmaut ¹⁴³

Abbildung 19 zeigt die Rückführung der Flächenmaut auf die Streckenmaut, indem die Mautgebühr über die Abbieger und Anbindungen berechnet wird. Abbieger ohne Maut sind aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt. Die Mautkosten für Strecken, Abbieger und Anbindungen werden wie folgt berechnet.

Für alle Strecken L gilt $c_L = 0$; für alle Anbindungen C gilt $c_C = 0$

Für alle Abbieger T gilt:

$$c_T = \delta_T \times \frac{c}{2}$$

$\delta_T = 1$, falls der Abbieger T die Grenze des Mautgebiets quert. Dies geschieht, wenn der Abbieger von einer Strecke im Mautgebiet zu einer Strecke außerhalb bzw. umgekehrt führt, sonst gilt $\delta_T = 0$.

Für alle Übergänge X von Anbindungen zu Strecken gilt:

$$c_X = \delta_X \times \frac{c}{2}$$

$\delta_X = 1$, falls der Übergang X zu einer Strecke im Mautgebiet führt oder von einer solchen kommt, sonst gilt $\delta_X = 0$.

Für Routen, die nicht durch das Mautgebiet führen ergibt sich somit der Betrag Null, für alle Routen, die das Mautgebiet durchlaufen wird, der Mautbetrag von 0,94 € berechnet, da sie jeweils zwei Netzobjekte mit dem Mautbetrag $c/2$ überfahren. Quellverkehr, Zielverkehr, Durchgangsverkehr und auch der Binnenverkehr des Mautgebiets wird somit mit dem Mautbetrag belastet. Dadurch werden Routen die das Mautgebiet mehrfach durchqueren auch mehrfach mit dem Mautpreis berechnet. Dies lässt sich durch die notwendige Rückführung

¹⁴³ Quelle: PTV AG, 2020. PTV Visum 2020 Handbuch, Karlsruhe S. 481 ff.

auf additive Mautbeträge pro Netzobjekt nicht verhindern. Die Routen mit mehrfach Belastung sind jedoch marginal und können im Zuge der Gesamtmodellierung vernachlässigt werden.¹⁴⁴

Mittels dieser Schritte wird der Widerstand der City-Maut in das Nürnberger Verkehrssystem implementiert. Dadurch verändern sich die Nachfrage im IV und ÖV, die Routen durch das Verkehrsnetz und der Modal Split in Nürnberg. Der Widerstand der Maut hat somit Auswirkungen auf die gesamte verkehrliche Situation in Nürnberg. Diese werden in Kapitel 7 anhand der Auswertungsergebnisse beschrieben.

6.2 Datenaufbereitung

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt mittels berechneter Kenngrößen- und Nachfragematrizen, Daten aus der ÖV Umlegungsstatistik und Informationen aus dem Netzmodell.

Über die Filterfunktion können die Nachfragematrizen des IV und ÖV so aufbereitet werden, dass sich die Verkehrsnachfrage gebietsabhängig bestimmen lässt. Hierfür wurden benutzerdefinierte Attribute für das Mautgebiet und dem Stadtgebiet von Nürnberg eingeführt. Bezirke, die in einem dieser Gebiete liegen, besitzen den Wert 1 für das jeweilige zutreffende Attribut. Das Attribut Stadtgebiet Nürnberg beinhaltet alle Bezirke bzw. Verkehrszellen der Stadt Nürnberg und auch die der Stadt Fürth, da diese beiden Stadtgebiete aus verkehrlichen Gesichtspunkten nicht sinnvoll voneinander getrennt werden können. Das Mautgebiet umfasst alle Bezirke, die innerhalb der Mautfläche liegen. Die Nachfragematrizen können aufgrund der Filter für das Mautgebiet bzw. das Stadtgebiet Nürnberg/Fürth anschließend so bearbeitet werden, dass sie sowohl den Binnenverkehr als auch den Quell- und Zielverkehr der jeweiligen Gebiete widerspiegeln. Gleiches gilt auch für die Berechnung der gefahrenen Personenkilometer, die sich aus der Kenngrößenmatrix der Reiseweite (JRD) multipliziert mit der Nachfrage ergibt. Die Reiseweite (in Meter) setzt sich aus der Zugangsweite, Fahrtweite, Gehweite und Abgangsweite zusammen. Unter der ÖV Statistik können ÖV Personenfahrten untergliedert nach Nachfrageschichten ausgelesen werden. Die Informationen zur Streckenbelastung werden im Fenster „Strecke bearbeiten“ angezeigt. Unter dem Reiter Basis erhält man die Daten sowohl für die IV und ÖV Belastung als auch für die IV Streckenauslastung. Im Reiter „IV-VSsys“ werden die Werte für die Geschwindigkeiten im unbelasteten und belasteten Zustand angegeben.

¹⁴⁴ PTV AG, 2020. PTV Visum 2020 Handbuch, Karlsruhe S. 481 ff.

7. Auswertung und Analyse des City-Maut Konzepts

Für die Analyse der verkehrlichen Auswirkungen einer City-Maut wird zunächst die verkehrliche Ausgangslage, der Ohnefall, betrachtet. Diese dient nach Modellierung der Maut als Grundlage für den Vorher-Nachher-Vergleich. Dazu wird nach der Implementierung der City-Maut die verkehrliche Situation, der Mitfall, ausgewertet. Für die Analyse werden die MIV und ÖV Nachfrage, die Streckenbelastungen und weitere Indikatoren für die Bestimmung der Nachfrageentwicklung herangezogen.

Untersucht werden dabei zwei Berechnungsweisen (Analysemodus und Prognosemodus), die sich im Verfahrensschritt der EVA-Moduswahl unterscheiden. Im Analysemodus, der die aktuellen verkehrlichen Verhältnisse in Nürnberg widerspiegelt, können die Auswirkungen einer Maut auf den IV im Mautgebiet realitätsnah analysiert werden. Die Modusanteile sind fest vorgegeben, so dass eine Änderung des Modal Split in dieser Berechnung nicht möglich ist. Bei der Berechnung im Prognosemodus, bei dem es keine vorgegebenen Modusanteile gibt, können Verkehrsteilnehmer somit ihre Moduswahl frei treffen. Ein Umstieg von MIV auf ÖV ist daher im Prognosemodus grundsätzlich möglich.

Abschließend werden die verkehrlichen Auswirkungen einer City-Maut in Nürnberg mit den Ergebnissen von bereits umgesetzten City-Maut Konzepten in anderen Städten verglichen.

7.1 Analysemodus

Die erste Berechnung einer Einführung einer City-Maut in Nürnberg erfolgt im Analysemodus. Dieser liefert zum einen ein Ergebnis zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage und somit auch zur Wirkung der City-Maut. Zusätzlich eignet sich der Analysemodus für die Untersuchung der Auswirkungen auf einzelne Strecken bzw. auf Streckenbelastungen, da dieser die aktuelle Verkehrssituation in Nürnberg realitätsnah wiedergibt.

7.1.1 IV-Nachfrage

Anhand der Verkehrsnachfrage kann bestimmt werden, inwiefern eine Verkehrsreduktion in Folge der City-Maut stattfindet. Hierzu wird die gesamte MIV-Nachfrage im Mitfall betrachtet und mit dem Ohnefall verglichen.

In Tabelle 14 ist die MIV Nachfrage im Mautgebiet und im Stadtgebiet Nürnberg dargestellt. Die Nachfrage im Mautgebiet (Binnenverkehr im Mautgebiet) geht dabei um 33,6 Prozent von 119.180 PKW-Fahrten auf 79.113 PKW-Fahrten zurück. Die Nachfrage im Mautgebiet ist dabei die Summe aller PKW-Fahrten, die das Mautgebiet als Ziel bzw. Ursprung der jeweiligen Fahrt haben. Sie kann stellvertretend für den Gesamten Quell- und Zielverkehr des Mautgebiets als auch den Binnenverkehr innerhalb des Mautgebiets angesehen werden. Die gesamte Nachfrage im Mautgebiet geht um 45,7 Prozent zurück.

Tabelle 14: Veränderung der IV Nachfrage im Analysemodus ¹⁴⁵

IV Nachfrage (Analyse)	PKW-Fahrten			
	Ohnefall	Mitfall	Abweichung	Differenz
Mautgebiet (Binnenverkehr)	119.180	79.113	-33,6%	40.067
Mautgebiet	503.892	273.704	-45,7%	230.188
Stadtgebiet Nürnberg	1.267.083	1.276.491	0,7%	-9.408

Abbildung 20 visualisiert den Rückgang der IV Nachfrage in den einzelnen Gebieten in einem Säulendiagramm. Diese Reduktion der Nachfrage ist eine starke Wirkung durch eine Verkehrssteuerungsinstrument. Das zugrundeliegende Ziel der Einführung der City-Maut in Nürnberg, das IV-Verkehrsaufkommen im Mautgebiet zu reduzieren, wird dadurch erreicht. Betrachtet man das gesamte Stadtgebiet Nürnbergs so ist eine Abweichung von 0,7 Prozent auszumachen. Die Nachfrage stieg sehr leicht von 1.267.083-PKW-Fahrten auf 1.276.491 PKW-Fahrten, die IV Nachfrage im gesamten Stadtgebiet von Nürnberg kann daher als gleichbleibend beschrieben werden. Dies bedeutet, dass sich der Verkehr vom Mautgebiet in die Nürnberger Gebiete ohne Maut verlagert und nicht auf andere Verkehrsmittel umsteigt. Zu erklären ist diese Entwicklung durch die Berechnung im Analysemodus. Dadurch gibt es eine strikte Vorgabe, dass sich der Modal Split von Ohnefall zu Mitfall nicht verändert und sich die Modusanteile somit nicht verändern. Ein genereller Umstieg vom MIV auf den ÖV ist daher nicht möglich.

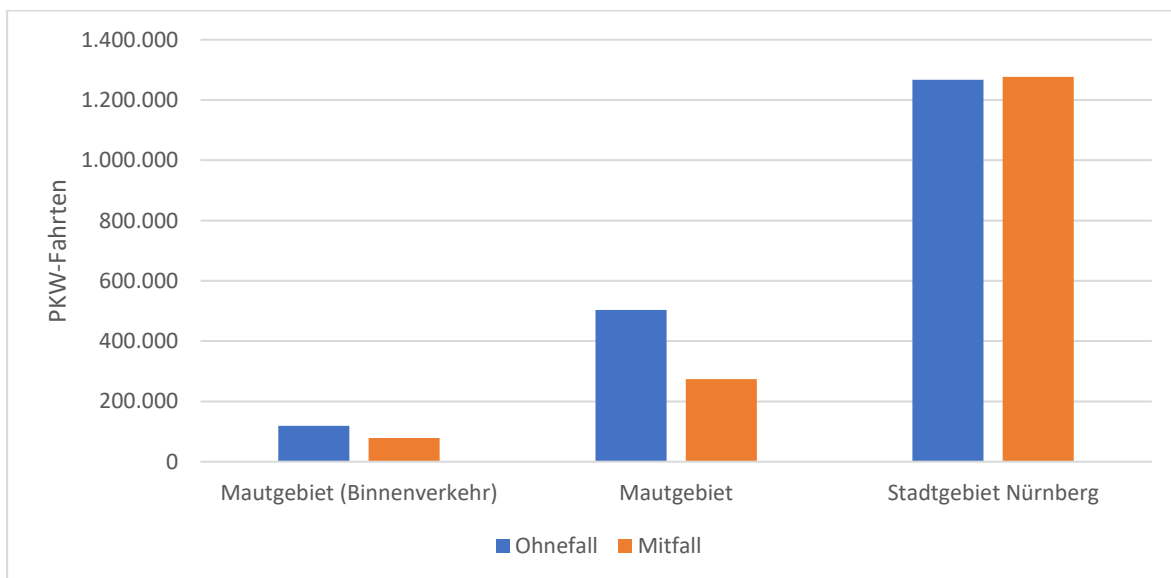


Abbildung 20: Rückgang IV Nachfrage im Mautgebiet ¹⁴⁶

¹⁴⁵ Quelle: eigene Tabelle

¹⁴⁶ Quelle: eigene Abbildung

7.1.2 ÖV Nachfrage

Betrachtet man die ÖV Nachfrage im Mautgebiet (Binnenverkehr) stellt man eine Steigerung von 33.682 ÖV-Fahrten fest, dies entspricht einer Zunahme von 31,6 Prozent. Diese Zunahme der ÖV Nachfrage kompensiert zum großen Teil die entfallenen IV Fahrten (40.067 PKW-Fahrten). Bezieht man den Ziel- und Quellverkehr mit ein, stellt man fest, dass die entfallenen Fahrten im IV nicht auf den ÖV umgestiegen sind. Dies spricht ebenfalls dafür, dass sich die IV Nachfrage auf das Stadtgebiet von Nürnberg ohne Maut aufgeteilt hat. Da die Nachfragezahlen des Stadtgebiet Nürnbergs, die Zunahme im Mautgebiet beinhalten, steigt auch die ÖV Nachfrage dort leicht um 3,3 Prozent an.

Tabelle 15: Veränderung der ÖV Nachfrage im Analysemodus ¹⁴⁷

ÖV-Nachfrage (Analyse)	ÖV-Fahrten			
	Ohnefall	Mitfall	Zunahme	Differenz
Mautgebiet (Binnenverkehr)	106.585	140.267	31,6%	33.682
Mautgebiet	367.519	409.288	11,4%	41.769
Stadtgebiet Nürnberg	556.280	574.665	3,3%	18.385

7.1.3 Streckenbelastung

Neben der Nachfrage sind auch die Routenwahl und somit die einzelne Streckenbelastungen von Bedeutung für die verkehrlichen Bedingungen in Nürnberg. Auf stark belasteten Strecken häufen sich Stauungssituationen und dadurch auch Zeitverluste. Als Indikatoren der Streckenbelastung werden sowohl die Anzahl der Fahrzeuge auf den jeweiligen Abschnitt, die Auslastung als auch ein Geschwindigkeitsabgleich der Geschwindigkeit im unbelasteten (v_o) und belasteten Zustand (v_{akt}) herangezogen. Als Analysegrundlage werden die Berechnung im Analysemodus herangezogen, da dieser die aktuelle Situation auf den einzelnen Strecken in Nürnberg realitätsnah wiedergibt. Für die Untersuchung wurde ein Streckenabschnitt exemplarisch ausgewählt, um die Auswirkungen einer City-Maut anhand eines Querschnitts zu erheben. Bei dem Streckenabschnitt handelt es sich um eine Strecke am Plärrer. Diese stellt einen großen Verkehrsknotenpunkt in Nürnberg dar und ist mit am stärksten belastet.

¹⁴⁷ Quelle: eigene Tabelle

Tabelle 16: Streckenbelastung am Knotenpunkt Plärren ¹⁴⁸

Plärren	Streckenbelastung			
	Richtung		Gegenrichtung	
Indikatoren	Ohnefall	Mitfall	Ohnefall	Mitfall
v _o [km/h]	35	35	40	40
v _{akt} [km/h]	20	33	19	37
Belastung ÖV [Pers.]	30.776	32.469 (+5,5%)	27.809	29.876 (+7,4%)
Belastung IV [Fz]	40.865	24.633 (-39,7%)	20.666	12.189 (-41%)
Auslastung [%]	95	58	96	58

Bei der der Entwicklung der IV Belastung stellt man wie schon bei der IV Nachfrage eine Abnahme des MIV fest. Auf der Richtungs-Strecke nimmt die Belastung von 40.865 Fahrzeugen auf 24.633 Fahrzeuge ab. Die entspricht einer Reduktion von 39,7 Prozent. Diese Entwicklungen sind mit Ergebnissen aus der IV Nachfrage zu vergleichen. Aufgrund der abgenommenen IV Belastung hat sich auch die Auslastung des Streckenabschnitts von 95 Prozent auf 58 Prozent reduziert. Eine niedrigere Auslastung ermöglicht einen flüssigeren Verkehrsfluss und höhere Geschwindigkeiten. Dies spiegelt sich auch bei dem Vergleich der Geschwindigkeiten im belasteten Zustand wider. Dort ist die Geschwindigkeit von 20 km/h auf eine Geschwindigkeit von 33 km/h angestiegen. Die Geschwindigkeit im unbelasteten Zustand beträgt 35 km/h und ist damit nicht wesentlich höher als die Geschwindigkeit im belasteten Zustand im Mitfall. Im Gegensatz zur IV Belastung steigt die Belastung im ÖV von 30.776 Personen auf 32.469 Personen um 5,5 Prozent an. Ein Teil der Verkehrsteilnehmer des IV steigen folglich auf den ÖV um. Eine ähnliche Entwicklung ist auf der Gegenrichtung zu beobachten. Dort nimmt die IV Belastung von 20.666 Fahrzeugen zu 12.189 Fahrzeugen um 41 Prozent ab. Die Auslastung im IV nimmt dadurch ab und beträgt ebenfalls 58 Prozent. Folglich wird auch die Geschwindigkeit im belasteten Zustand von 19km/h im Ohnefall zu 37 km/h im Mitfall erhöht. Analog zur Richtungsstrecke nimmt auch die ÖV Belastung auf der Strecke der Gegenrichtung zu. Im Mitfall nutzen 29.876 Personen den ÖV. Im Ohnefall beträgt die Personenzahl im ÖV 27.809, dies entspricht einer Zunahme von 7,4 Prozent. Eine Untersuchung der Streckenbelastung hat eine Reduktion des IV und eine Steigerung des ÖV im Mautgebiet bestätigt. Zusätzlich wurden auch Reduktionen in der Streckenauslastung und eine Erhöhung der möglichen Reisegeschwindigkeit festgestellt.

¹⁴⁸ Quelle: eigene Tabelle

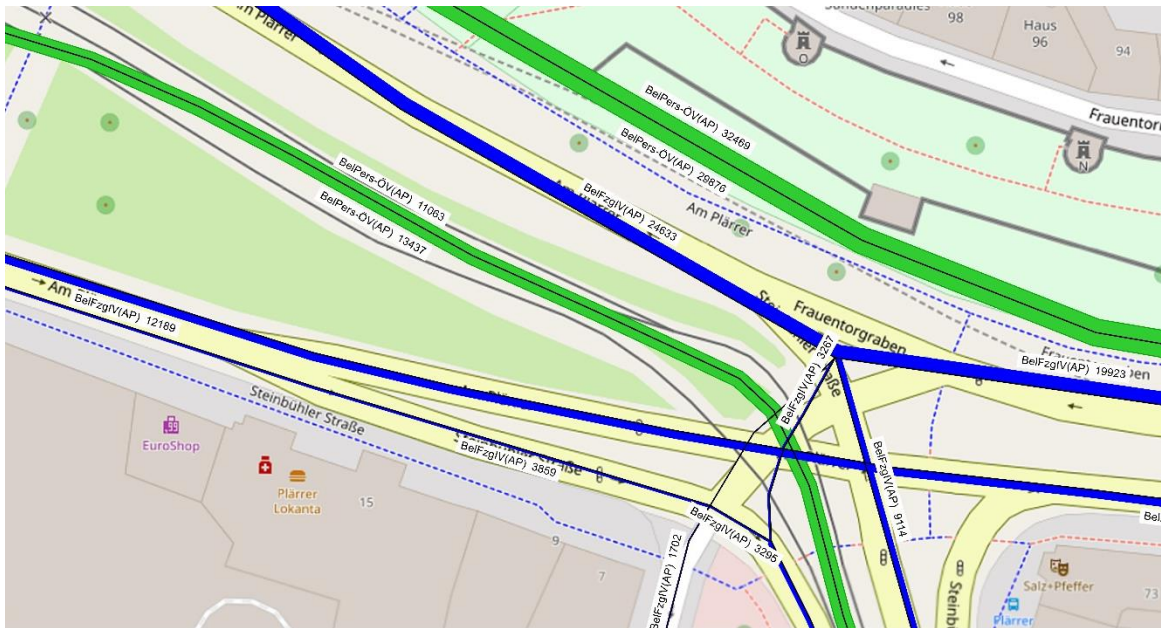


Abbildung 21: Streckenbelastung am Plärrer ¹⁴⁹

7.2 Prognosemodus

Um einen möglichen Modal Shift vom MIV zum ÖV zu untersuchen, wurden die Einstellung in der Moduswahl auf den Prognosemodus geändert. Die Verkehrsteilnehmer können nun ihr Verkehrsmittel frei wählen, da die vorgegebenen Modusanteile entfallen. Anhand des Deltaverfahrens (Unterschied bei Vorher-Nachher-Vergleich) wird die Entwicklung im ÖV betrachtet und analysiert inwieweit die Personen von MIV auf den ÖV umsteigen und ein Modal Shift stattfindet. Bei Berechnungen im Prognosemodus unterstellt das Modell dem Verkehrsteilnehmer, seine Verkehrsentscheidungen ausschließlich rational (homo oekonomikus) zu treffen. Dies stellt jedoch nicht die Realität dar, da die Verkehrsteilnehmer kaum vollumfänglich über alle Entscheidungsalternativen informiert sind und auch subjektiv bzw. irrational handeln. Dadurch ergibt sich eine generell höhere Nachfrage im ÖV im Vergleich zum Analysemodus. Dennoch ist die Berechnung im Prognosemodus ein geeignetes Verfahren zur Untersuchung einer Veränderung Modal Shift.

7.2.1 IV-Nachfrage

Eine Berechnung mit dem Prognosemodus ergeben folgende Entwicklungen bei der IV Verkehrsnachfrage.

Durch die Einführung der City-Maut und der Möglichkeit des Umsteigens vom MIV auf den ÖV geht die Nachfrage im MIV deutlich zurück. Im Mautgebiet wird die MIV Nachfrage von 393.557 PKW-Fahrten auf 173.528 PKW-Fahrten (um 55,9 Prozent) reduziert. Auch im gesamten Stadtgebiet von Nürnberg geht die Nachfrage von 909.526 PKW-Fahrten auf

¹⁴⁹ Quelle: eigene Abbildung

824.143 PKW-Fahrten zurück, eine Reduktion um 9,4 Prozent. Vergleicht man die entfallenen Fahrten im MIV zwischen Mautgebiet (220.029 PKW-Fahrten) und dem Nürnberger Stadtgebiet (85.383 PKW-Fahrten) so erkennt man, dass sich noch immer PKW-Fahrten auf des Stadtgebiet ohne Maut verlagern.

Tabelle 17: Veränderung der IV Nachfrage im Prognosemodus ¹⁵⁰

IV Nachfrage (Prognose)	PKW-Fahrten			
Gebiet	Ohnefall	Mitfall	Differenz	Abnahme
Mautgebiet	393.557	173.528	220.029	-55,9%
Stadtgebiet Nürnberg	909.526	824.143	85.383	-9,4%

Anhand der Abbildung 22 kann abgelesen werden, dass sich nicht alle Fahrten auf das mautfreie Stadtgebiet verlagern, sondern auch, dass ein großer Teil (85.383 PKW-Fahrten) der IV-Nachfrage wegfällt. Daraus lässt sich schließen, dass 38,8 Prozent der durch die Maut reduzierten IV-Nachfrage bzw. PKW-Fahrten auf andere Verkehrsmittel umsteigt. Dies ist ein signifikanter Unterschied zu den Berechnungen im Analysemodus. Die freie Moduswahl hat nicht nur die IV-Nachfrage im Mautgebiet reduziert, sondern auch eine Modal Split Veränderung bzw. ein Modal Shift von IV zu ÖV bzw. Fuß- und Radverkehr bewirkt (vgl. 7.2.3).

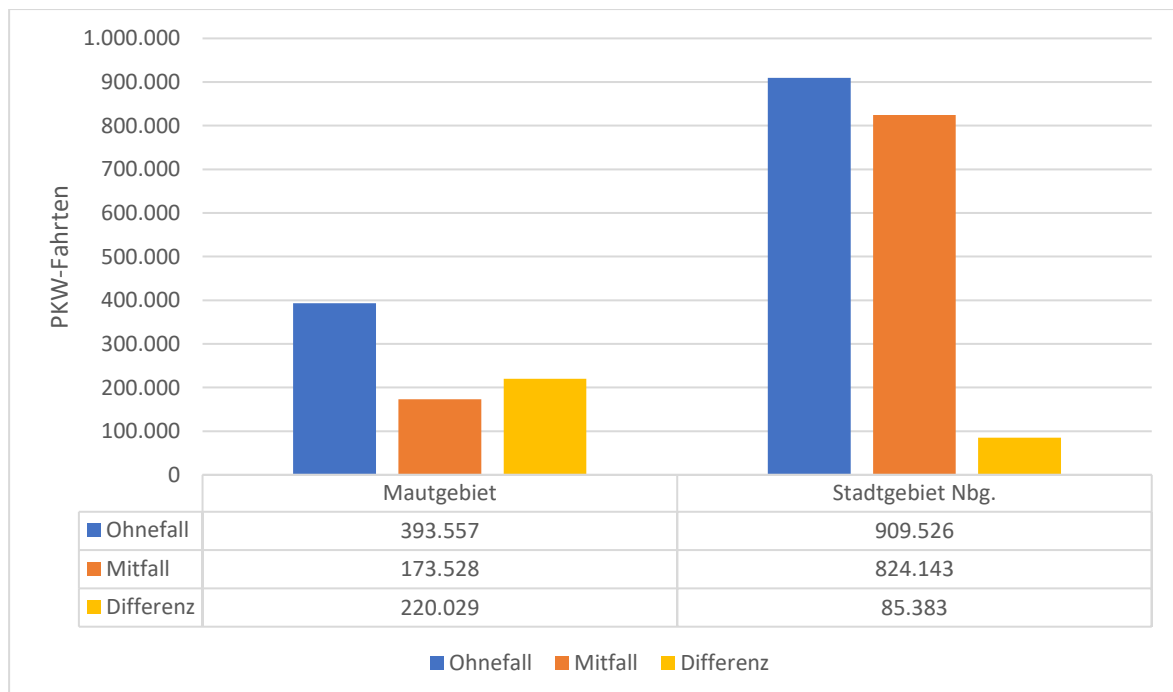


Abbildung 22: Entwicklung MIV Nachfrage im Prognosemodus ¹⁵¹

¹⁵⁰ Quelle: eigene Tabelle

¹⁵¹ Quelle: eigene Abbildung

7.2.2 ÖV-Nachfrage

Vergleicht man die Entwicklung der MIV Nachfrage mit der Nachfrageentwicklung des ÖV stellt man fest, dass sich die Nachfrage im ÖV im Gegensatz zum MIV erhöht. Im Mautgebiet steigt die ÖV Nachfrage von 979.790 ÖV-Fahrten auf 1.141.254 ÖV-Fahrten (um 16,5 Prozent) an. Im Nürnberger Stadtgebiet steigen die ÖV-Fahrten nur leicht an.

Tabelle 18: Veränderung der ÖV Nachfrage im Prognosemodus ¹⁵²

ÖV-Nachfrage (Prognose)	ÖV-Fahrten			
	Ohnefall	Mitfall	Differenz	Zunahme
Mautgebiet	979.790	1.141.254	161.464	16,5%
Stadtgebiet Nbg.	1.932.385	2.110.044	177.659	9,2%

Vergleicht man die Differenzen (vgl. Tabelle 18) zwischen Ohne- zu Mitfall fällt auf, dass die meisten der hinzugewonnen ÖV-Fahrten im Nürnberger Stadtgebiet im Mautgebiet hinzugekommen sind. Von den 177.659 zusätzlichen ÖV-Fahrten sind 16.195 ÖV-Fahrten Stadtgebiet ohne Maut generiert worden. Daran wird deutlich, dass die zusätzlich induzierten ÖV-Fahrten zum großen Teil auf die Wirkung der City-Maut zurückzuführen sind. Berücksichtigt man neben dieser Erkenntnis auch die Reduktion der IV-Nachfrage, kann eine Verlagerung der IV-Nachfrage hin zum ÖV angenommen werden. Dieser Aspekt führt zu der wichtigen Schlussfolgerung, dass die City-Maut in Nürnberg eine Verlagerung des IV zum ÖV bewirkt.

In Abbildung 23 ist die Entwicklung der ÖV-Personenfahrten von Ohnefall zum Mitfall dargestellt. Betrachtet man die Personenfahrten im ÖV-System für den gesamten Erzeugungsraum so zeigt sich eine deutliche Zunahme der Personenfahrten in den einzelnen Nachfragesegmenten. Lediglich die Nachfragesegmente Ausbildung-Wohnen und Wohnen-Ausbildung verzeichnen keine deutliche Zunahme. Dies ist damit zu begründen, dass der ÖV-Anteil für dieses Nachfragesegment im Ohnefall bereits sehr hoch ist (> 50 %), insbesondere im Vergleich mit den anderen Nachfragesegmenten. Daher gibt es für dieses Nachfragesegment kein signifikantes Steigerungspotential und die City-Maut hat auf dieses Nachfragesegment kaum einen Einfluss.

¹⁵² Quelle: eigene Tabelle

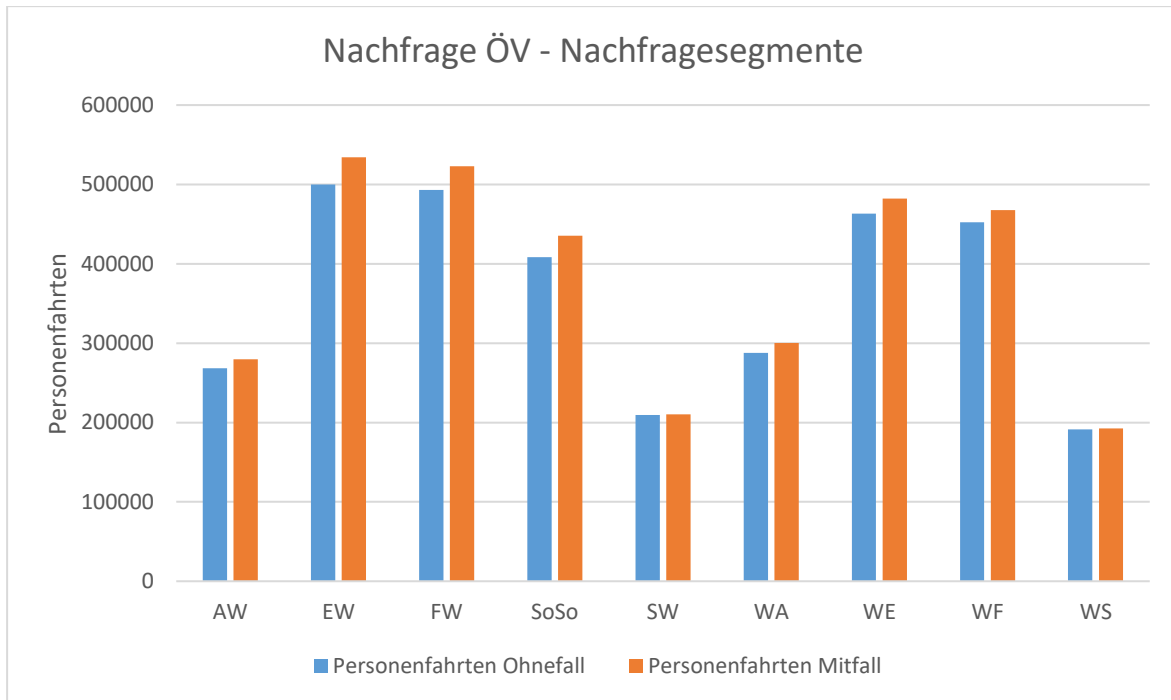


Abbildung 23: Entwicklung der Personenfahrten im ÖV nach Nachfragesegment ¹⁵³

Die weiteren Nachfragesegmente weisen eine Zunahme von 3,4 Prozent bis 6,9 Prozent auf (vgl. Abbildung 24). Die City-Maut Maßnahme wirkt sich somit auf die ÖV-Nachfrage fast aller Nachfragesegmente aus und erhöht die ÖV-Nachfrage gleichermaßen in allen Bereichen. Eine City-Maut wirkt also nicht nur auf den Berufs- und Pendelverkehr sondern auch auf Einkaufs- und Freizeitverkehr.

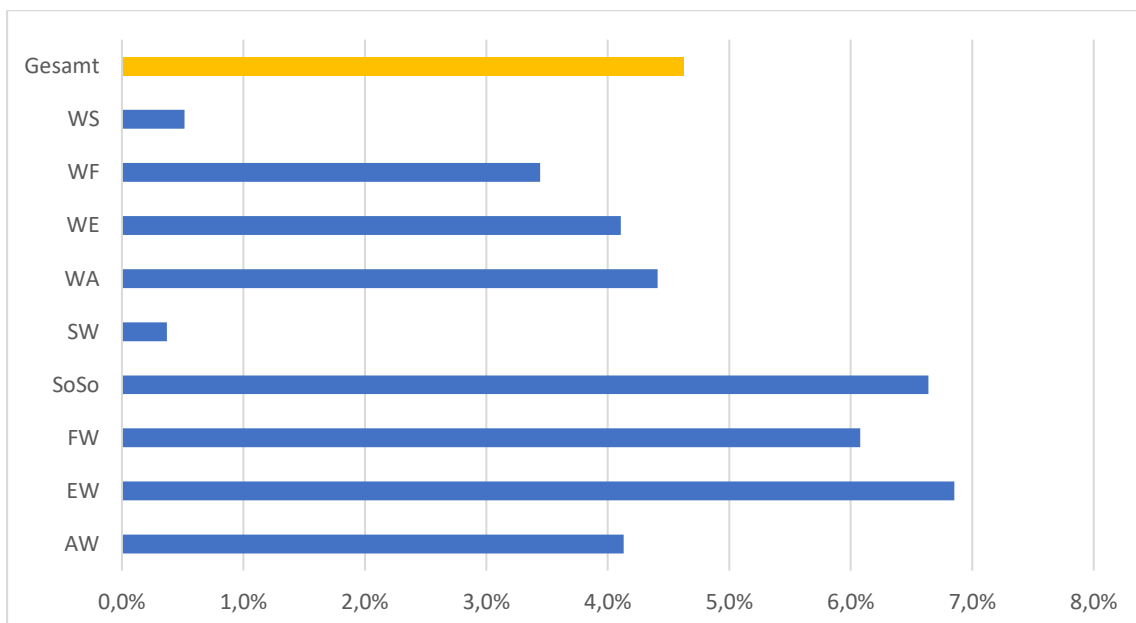


Abbildung 24: Zunahme der Personenfahrten im ÖV ¹⁵⁴

¹⁵³ Quelle: eigene Abbildung

¹⁵⁴ Quelle: eigene Abbildung

Ein weiterer Indikator für die ÖV-Nachfrage, anhand dem die gestiegenen ÖV Nachfrage erneut überprüft wird, sind die gefahrenen Personenkilometer (P-km) im gesamten System. Hier ist eine Zunahme um 2,1 Prozent von 58.118.894 auf 59.317.943 Personenkilometer zu erkennen. Es erhöhen sich also nicht nur die durchgeführten Personenfahrten, sondern auch die von den Personen zurückgelegten Entfernung mit dem ÖV. Um eine genauere Betrachtung der Entwicklung der Personenkilometer in den verschiedenen Gebieten zu ermöglichen, wurden die Personenkilometer für das Nachfragesegment Wohnen-Einkaufen (WE) berechnet. Die Berechnungen für das Nachfragesegment WE können stellvertretend für die gesamten ÖV Personenkilometer angesehen werden und sind in Tabelle 19 zusammengestellt.

Tabelle 19: Gefahrene Personenkilometer ÖV / Nachfragesegment WE und gesamt ¹⁵⁵

ÖV Nachfrage	Personenkilometer WE [P-km]			
Gebiet	Ohnefall	Mitfall	Differenz	Zunahme
Maut WE	1.838.744	1.972.965	134.221	7,3%
Stadtgebiet Nbg. WE	3.981.138	4.185.175	204.037	5,1%
Gesamt WE	7.544.394	7.736.109	191.715	2,5%
Gesamt ÖV	58.118.894	59.317.943	1.199.049	2,1%

Bei der Betrachtung der gefahrenen Personenkilometer fällt auf, dass sowohl im Mautgebiet als auch im Stadtgebiet die Zahl der Personenkilometern zunimmt. Im Mautgebiet steigt die ÖV Nachfrage von 1.838.744 p-km auf 1.972.965 p-km um 7,3 Prozent an. Eine Steigerung von 5,1 Prozent von 3.981.138 p-km auf 4.185.175 p-km kann im Nürnberger Stadtgebiet festgestellt werden. Die Einführung der City-Maut erhöht somit die Zahl der Personenkilometer sowohl im Mautgebiet als auch im Stadtgebiet Nürnbergs. Abbildung 25 stellt die ermittelte Steigerung der ÖV-Nachfrage anhand der gefahrenen Personenkilometer in einem Säulendiagramm dar und belegt, wie auch die Analyse der Personenfahrten im ÖV, eine Steigerung der Nachfrage des ÖV.

¹⁵⁵ Quelle: eigene Tabelle

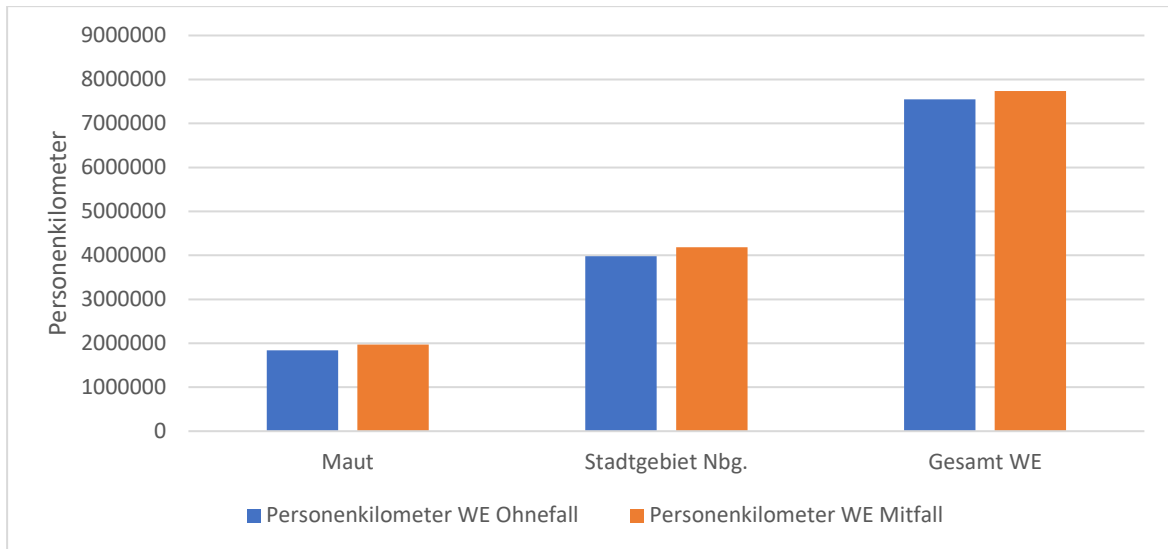


Abbildung 25: Gefahrene Personenkilometer ÖV im Nachfragesegment WE ¹⁵⁶

7.2.3 Modal Split

Die Mobilitätsänderung wird anhand des Modal Splits überprüft. Dieser beschreibt die Verteilung der Anteile des jeweiligen Verkehrssystems am gesamten Verkehr. Zur Auswertung von Modal Split Veränderungen werden die Berechnungen für die Nachfragen des Fuß- und Radverkehrs, des ÖV und des IV im Ohne- und Mitfall herangezogen. Tabelle 20 zeigt sowohl die Nachfragedaten der einzelnen Verkehrssysteme als auch die zugehörigen Modusanteile.

¹⁵⁶ Quelle: eigene Abbildung

Tabelle 20: Modal Split Mautgebiet und Stadtgebiet Nürnberg Prognosemodus ¹⁵⁷

Modal Split	Umstieg IV zu ÖV			
	Mautgebiet Ohnefall	Mautgebiet Mitfall	Stadtgebiet Nbg. Ohnefall	Stadtgebiet Nbg. Mitfall
Fuß	136.924	188.466	231.928	295.196
Rad	87.585	126.790	126.961	171.511
IV	393.557	173.528	909.526	824.143
ÖV	979.790	1.141.254	1.932.385	2.110.044
Gesamt	1.597.856	1.630.038	3.200.800	3.400.894
Anteil Fuß	8,6%	11,6%	7,2%	8,7%
Anteil Rad	5,5%	7,8%	4,0%	5,0%
Anteil IV	24,6%	10,6%	28,4%	24,2%
Anteil ÖV	61,3%	70,0%	60,4%	62,0%

Generell lässt sich festhalten, dass die Einführung der Maut sowohl im Stadtgebiet als auch im Mautgebiet eine Reduktion des MIV bewirkt. Die Nachfrage des Umweltverbunds (Fuß- und Radverkehr + ÖV) wird im Vergleich dazu erhöht.

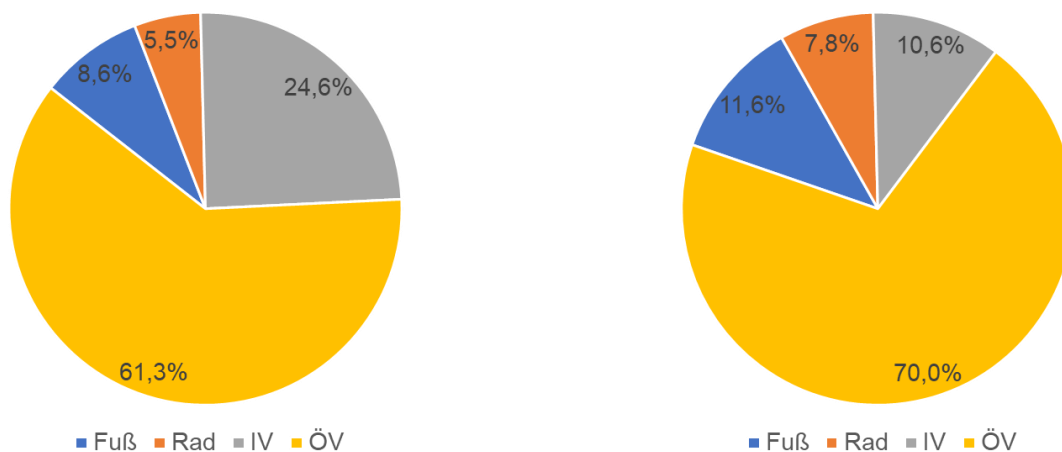


Abbildung 26: Modal Split im Mautgebiet vor und nach Einführung der City-Maut ¹⁵⁸

¹⁵⁷ Quelle: eigene Tabelle

¹⁵⁸ Quelle: eigene Abbildung

Abbildung 26 stellt den Modal Split im Mautgebiet vor und nach Einführung der City-Maut dar. Im Mautgebiet reduziert sich der MIV Anteil von 24,6 Prozent auf 10,6 Prozent. Der ÖV erhöht sich um 8,7 Prozentpunkte, der Radverkehr um 2,3 Prozentpunkte und der Fußverkehr um 3,0 Prozentpunkte. Deutlicher Profiteur der Maut ist im Mautgebiet der ÖV, der zwei Drittel der entfallenen IV-Nachfrage bindet.

Im Stadtgebiet Nürnberg reduziert sich der MIV-Anteil um 4,2 Prozentpunkte. Diese Prozentpunkte teilen sich relativ gleichmäßig auf die anderen Verkehrssysteme auf. Der ÖV nimmt um 1,6 Prozentpunkte zu, der Radverkehr um 1 Prozentpunkt und der Fußverkehr um 1,5 Prozentpunkte.

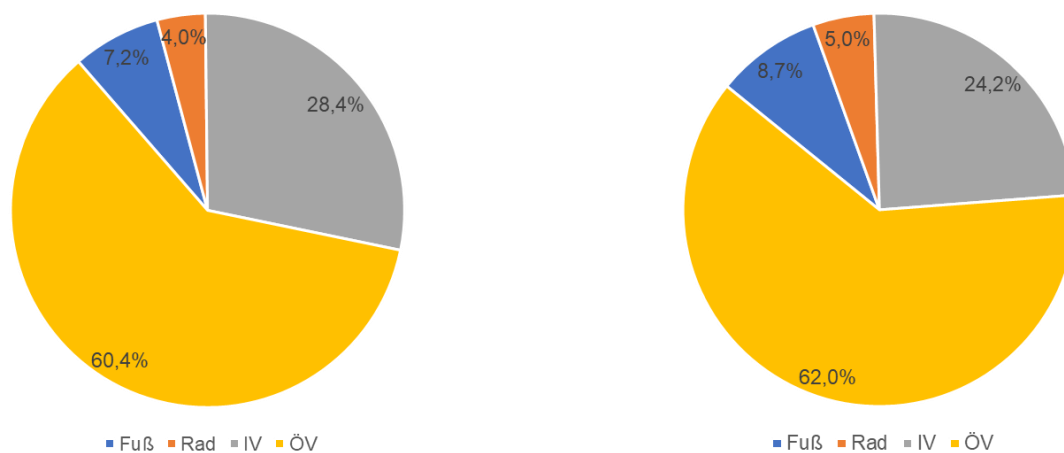


Abbildung 27: Modal Split im Stadtgebiet Nürnberg vor und nach Einführung der City-Maut ¹⁵⁹

Die City-Maut wirkt sich besonders stark im Mautgebiet, in denen auch die Gebühren erhoben werden aus. Sie hat zudem auch einen Einfluss auf den Verkehr außerhalb des Mautgebiets, dieser ist jedoch deutlich geringer im Gegensatz zum Mautgebiet. Die erwünschten Ziele, die Nachfrage des IV zu verringern und die Verkehrsteilnehmer auf den ÖV bzw. Fuß und Radverkehr umsteigen zu lassen, werden durch Einführung der City-Maut erreicht.

¹⁵⁹ Quelle: eigene Abbildung

8. Kritische Reflektion

Zur wissenschaftlichen Einordnung der Ergebnisse der Arbeit ist eine kritische Reflektion der Ergebnisse und auch eine Erklärung der Schwierigkeiten im Zuge der Bearbeitung erforderlich. Dabei werden getroffenen Annahmen und auch Vorgehensweisen hinterfragt und auch Aspekte beleuchtet, die für eine konkret Umsetzung der Maut eine zusätzliche Betrachtung erfordern. Unter anderem wird auf die Relevanz des VOT und dessen Ermittlung eingegangen. Zusätzlich werden die Ergebnisse mit den bereits bekannten Entwicklungen in anderen europäischen Städten im Zuge einer City-Maut Einführung abgeglichen und kritisch hinterfragt. Abschließend werden die Ergebnisse und deren Schlussfolgerungen zusammengestellt.

8.1 Relevanz des VOT

Die größte Schwierigkeit bei der Ermittlung des VOT ist, dass die Bewertung der Zeit individuell ist. Jede Person bewertet die eingesparte bzw. zusätzliche Zeit im Verkehr unterschiedlich. Die wichtigsten Einflussgrößen sind dabei das Einkommen, das Verkehrsmittel, der Fahrtzweck, die Reiseweite, die Verkehrsbedingungen (bspw. Stauung, Gebühren) und die Qualität des Reisens. Manche dieser Faktoren, wie das Einkommen und die Reiseweite, lassen sich gut quantifizieren. Das Einkommen kann bspw. mittels der Kaufkraft gut auf andere Untersuchungsgebiete bzw. Länder normiert werden. Andere Einflüsse, wie Verkehrsmittels und Fahrtweg, sind schwieriger mit Zahlen und Werten festzumachen. Auch hier sind aber klare Tendenzen, welche Fahrtzwecke und welche Verkehrsmittel ein höherer Zeitwert beigemessen wird, erkennbar. In einer gesamtheitlichen Betrachtung ist eine Differenzierung nach Fahrtzweck nicht zwingend nötig, da in einem Untersuchungsgebiet (z.B. einer Stadt) alle Fahrtzwecke auftreten. Der Einfluss der Verkehrsbedingung und auch der Mautgebühren ist Gegenstand vieler wissenschaftlichen Untersuchungen. Einigkeit besteht darin, dass verkehrsreichere Bedingungen und Mautgebühren die Bewertung der Zeit erhöhen, diese erhöhte Bewertung in Zahlen bzw. Faktoren jedoch zu verschiedenen Ergebnissen führt. Sowohl für den Stauungsfaktor als auch für den Mautfaktor wurden für die Normierung des VOT Annahmen unter Berücksichtigung der wissenschaftlichen Untersuchungen getroffen. Die wohl am schwierigsten zu bewertender Einflussgröße ist die Qualität des Reisens. Die individuellen Verkehrsteilnehmer bewerten die Qualität des Reises anhand unterschiedlichster Kriterien, z.B. Lärm, Gesellschaft und Komfort. Diese Kriterien werden unterschiedlich wahrgenommen werden, daher ist es schwierig die Qualität des Reisens in die Ermittlung des VOT miteinfließen zu lassen. Die Ermittlung des VOT erfolgt meistens über Befragungen und zum Teil auch Beobachtungen. Die Erhebungen beruhen daher immer auf einer Stichprobe und einem Studenumfeld. Dies sollte bei Übertragungen auf andere Städte bzw. Gebiete berücksichtigt werden.

Aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten bei der Ermittlung oder auch Übertragung ermittelter VOT-Werte müssen daher im Zuge einer konkreten Planung einer City-Maut detaillierte Untersuchungen zum VOT durchgeführt werden, da dieser großen Einfluss auf die Wirkung und den Erfolg dieser Maßnahme hat.

8.2 Einordnung der Ergebnisse

Zur Einordnung der Ergebnisse und für mögliche Schlussfolgerungen daraus, werden die Ergebnisse zunächst mit den Erfahrungen einer City-Maut in anderen Städten verglichen. Auch unter Berücksichtigung des Abgleichs werden anschließend die Ergebnisse der Mautmodellierung hinterfragt und bewertet.

8.2.1 Abgleich mit bestehenden Mautsystemen

Die Ergebnisse der City-Maut Modellierung für Nürnberg werden verglichen mit den Auswirkungen in anderen Städten, in denen bereits eine City-Maut eingeführt wurde. Anhand dieses Abgleichs sollen die Ergebnisse der Maut-Modellierung mit tatsächlichen Auswirkungen einer City-Maut auf Plausibilität geprüft werden. Hierfür werden insbesondere die Folgen einer City-Maut in den Städten London, Stockholm und Mailand herangezogen.

In Mailand ist infolge der Einführung des Ecopass (Maut zur Reduktion von Verschmutzungswerten) der MIV-Verkehr anfänglich um 11 Prozent bis 21 Prozent reduziert worden. Im Zuge des Programms Area C (Anti-Stau-Gebühr) ist die MIV-Nachfrage um weitere 37 bis 38,5 Prozent zurückgegangen. Die Nachfrage des Verkehrssystems U-Bahn ist dabei um 12,5 Prozent gestiegen. Die Anti-Stau-Gebühr hat demzufolge größeren Einfluss auf die Verkehrsnachfrage als Gebühren zur Verbesserung von Umweltaspekten. Eine Reduzierung des Straßenverkehrs hat auch die „Congestion Charge“ (Staugebühr) in London zur Folge. Nach Einführung der Gebühr reduzierte sich der Verkehr um 14 bis 21 Prozent. Die Fahrtzeiten gingen dabei um 8 bis 30 Prozent zurück. 10 Prozent der früheren PKW-Fahrer sind auf den ÖV umgestiegen ¹⁶⁰. In Folge der City-Maut Einführung in Stockholm ergab sich eine Reduktion des Verkehrs, der den Maut-Cordon passierte, von 18 bis 22 Prozent. Stauzeiten verkürzten sich um 30 bis 50 Prozent. 4 bis 5 Prozent der entfallenen MIV-Fahrten sind auf den ÖV umgestiegen. ¹⁶¹

City-Maut Systeme, die das explizite Ziel haben die Verkehrsnachfrage zu reduzieren, erzielen folglich höhere Wirkungen bei der Verkehrsreduktion und dem Umstieg vom MIV auf andere Verkehrssysteme ¹⁶². Tabelle 21 vergleicht die europäischen Mautsysteme, in ihrer Anwendung und ihren verkehrlichen Auswirkungen.

¹⁶⁰ Croci, E. 2016. Urban road pricing: A comparative study on the experiences of London, Stockholm and Milan, *Transportation Research Procedia*, 14, 253-262 S.256

¹⁶¹ Eliasson J. 2014. *The Stockholm congestion charges: an overview*, Centre for Transport Studies, CTS Working Paper 2014:7 S.9ff.

¹⁶² Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. *Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München*, ifo Institut, München S. 31ff.

Tabelle 21: Vergleich: Nürnberg, London, Stockholm, Mailand ¹⁶³

	Nürnberg	London	Stockholm	Mailand
Fläche	23 km ² (12,2% der Stadtfläche)	21 km ² (1.3% der Stadtfläche)	30km ² (16% der Stadtfläche)	8 km ² (4.5% der Stadtfläche)
Preis	Tagespauschale: 3,50 € (0,94€ pro Fahrt)	5 £ (2003) 11,50 £ (aktuell) (ca. 12,9 €)	20 SEK (2,16 €) (7:30-8:30, 16:00-17:30) SEK 15 (30 min vor und nach den HVZ) SEK 10 (6:30-18:30) Tagespauschale: SEK 60	Verschmutzungsgebühr: Emissionsklasse d. Fz., in Höhe von 0, 2, 5 oder 10 € pro Tag. Staugebühr: Tagespauschale 5 € pro Tag
Anwendung der Gebühr	Flächenmaut Tägliche Gebühr Gebühr für Einfahrt, Ausfahrt, innergebietliche Fahrten	Flächenmaut Tägliche Gebühr Gebühr für Einfahrt, Ausfahrt, innergebietliche Fahrten	Flächenmaut Einzelpassagegebühr Gebühr für Einfahrt und Ausfahrt ins Mautgebiet	Flächenmaut Tägliche Gebühr Gebühr für Einfahrt ins Gebiet
Zeitraum	Montag - Freitag, ganztags	Montag - Freitag, 7:00-18:00	Montag - Freitag, 6:30-18:30	Montag - Freitag, 7:30-19:30
Auswirkungen IV	Prognosemodus: IV Mautgebiet: -55,9% IV: Stadtgebiet: -9,4% ÖV Mautgebiet: 16,5% ÖV Stadtgebiet: 9,2%	-14% (2003) -16% (2006) -21% (2008)	-21% (2006) -19% (2007) -18% (2008) -18% (2009) -19% (2010) -20% (2011)	Ecopass: -20.8% (2008) -17% (2009) -19.3% (2010) -10.8% (2011) Area C: -38.5% (2012) -37.6% (2013) -36.8% (2014)
Weiter Auswirkungen	8,7% von IV auf ÖV	Bus/U-Bahn: + ca. 10%	PKW: - 24% (Shift zu ÖV)	12,5% höhere U-Bahn Nutzung

¹⁶³ Quelle: Eigene Tabelle nach Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München (S. 31ff.) und Croci, E. 2016. Urban road pricing: A comparative study on the experiences of London, Stockholm and Milan, Transportation Research Procedia, 14, 253-262 S.256

Bei der Gegenüberstellung der Städte kann festgehalten werden, dass es sich bei allen Mautsystemen um eine Flächenmaut handelt, die die Einfahrten in das Mautgebiet bepreist. Zum Teil handelt es sich auch um Ausfahrten bzw. innergebietliche Fahrten. In allen Städten wird die Maut von Montag bis Freitag erhoben, die Zeiträume am Tag können dabei variieren. Die Größe der Mautfläche und insbesondere der Anteil am Stadtgebiet ist unterschiedlich. Nürnberg ist in Bezug auf die Gebührenfläche am besten mit Stockholm zu vergleichen. Die Bepreisung variiert ebenfalls von 2 bis 10 Euro zwischen den Städten, ist aber mit dem Nürnberger Mautpreis vergleichbar. Eine zeitliche Differenzierung der Gebühren ist üblich. Der Vergleich der verkehrlichen Auswirkungen gestaltet sich schwierig, da Faktoren wie z.B. die Größe der Mautfläche von Nürnberg abweichen. Auch die flächenmäßige Erhebung der verkehrlichen Auswirkungen ist dabei entscheidend. In Nürnberg wurden zwei Bereiche, das Mautgebiet und das Stadtgebiet analysiert. Dabei wurde eine Reduktion des MIV von 56 Prozent im Prognosemodus bzw. 46 Prozent im Analysemodus für Mautgebiet ermittelt. Der Verkehr des gesamten Stadtgebiets hat sich um 9,4 Prozent reduziert. Hier ist die Abhängigkeit des Erhebungsraumes deutlich zu erkennen. In den anderen Städten wurde zum Teil nur der Ziel- und Quellverkehr des Mautgebiets betrachtet. Eine Reduktion von mindestens 10 Prozent bis hin zu 39 Prozent sind im Zuge einer umgesetzten City-Maut möglich. Am ehesten vergleichbar mit den anderen Städten sind die Nürnberger Werte für das Mautgebiet, da dieses auch den Quell- und Zielverkehr in und aus dem Stadtgebiet repräsentiert. In Nürnberg fallen die Verkehrsreduktionen im IV höher aus als in den anderen Städten. Betrachtet man die Entwicklung im ÖV kann jedoch eine vergleichbare Größenordnung festgestellt werden. In Nürnberg verlagerten sich 8,7 Prozentpunkte vom MIV auf den ÖV. In London wurde eine Erhöhung des ÖV um 10 Prozent festgestellt und auch in Mailand konnte eine erhöhte Nutzung der U-Bahn von 12,5 Prozent erhoben werden. In Stockholm verlagerten sich 4-5 Prozent des vorherigen MIV auf den ÖV. Zwei grundlegende Tendenz aller Mautsysteme lassen sich demnach festhalten. Durch die Einführung einer City-Maut reduziert sich sowohl die MIV-Nachfrage deutlich, zudem steigt auch ein Teil der MIV Verkehrsteilnehmer auf den ÖV um.

8.2.2 Bewertung der Ergebnisse

Die berechnete Verkehrsreduktion in Nürnberg, insbesondere im Mautgebiet, durch die Einführung City-Maut fällt mit 56 Prozent im Prognosemodus bzw. 46 Prozent im Analysemodus hoch aus. Der Verzicht auf Ausnahmen und auch die Erhebung pro Fahrt anstatt pro Zeitraum (z.B. pro Stunde) lassen hier die Verkehrsreduktion deutlicher ausfallen als in den anderen Städten. Zeitliche Abstufungen anhand der Tageszeiten beeinflussen ebenfalls die Reduktion des Verkehrs. In anderen Städten wird der Preis in Abhängigkeit der Tageszeit erhoben. Zu Nebenverkehrszeiten wird ein niedrigerer Mautpreis erhoben als zu Hauptverkehrszeiten. Die Verkehrsreduktion kann daher in der Gesamtbetrachtung geringer ausfallen. In Nürnberg wurde auf solche Abstufungen verzichtet, somit erfolgt die Mauterhebung über den gesamten Tag und bewirkt zu allen Tageszeiten eine Reduktion des Verkehrs. Jedoch sollte bei der tageszeitabhängigen Erhebung der Maut auch beachtet werden, dass zu den Verkehrsspitzen deutlich höhere Mautpreise berechnet werden und dadurch die Verkehrsnachfrage auch stärker reduziert wird als mit gleichbleibenden Mautpreis. Eine präzise (zeitliche) Abstufung des Gebührensystems kann die Lenkungswirkung der City-

Maut erhöhen und dadurch Stauungsereignisse und verkehrsreiche Zeiträume weiter entzerren.

Durch die Reduktion der Streckenauslastung im Mautgebiet und der daraus resultierenden Anhebung der Reisegeschwindigkeit im Verkehrsnetz von teils 19 km/h auf 35 km/h können als kürzere Reisezeiten und dadurch Zeiteinsparungen geschaffen werden. Die durch Zeitverluste verursachten externen Kosten des Verkehrs werden durch die City-Maut reduziert. Die erhöhte Reisegeschwindigkeit ist auch ein Indikator für einen verbesserten Verkehrsfluss und eine Verbesserung der Verkehrsbedingungen in Nürnberg.

Eine Mobilitätsänderung als auch eine Lenkungswirkung, kann durch die Reduktion der MIV Nachfrage und die gleichzeitige Erhöhung der Nachfrage im ÖV und auch im Fuß- und Radverkehr belegt werden. Die Verkehrsnachfrage aller Verkehrssysteme ist durch den Umstieg von MIV auf den ÖV und Fuß- und Radverkehr, nicht gesunken.

Grundsätzlich ist die Betrachtung der verkehrlichen Auswirkungen mithilfe eines Verkehrsmodells eine vereinfachte Realitätsabbildung und spiegelt nicht die exakten Verhältnisse, die sich durch eine Einführung einer City-Maut in Nürnberg einstellen würden, wider. Die Ergebnisse zeigen aber Tendenzen für die Entwicklung der verkehrlichen Verhältnisse und auch die Potentiale einer City-Maut in Nürnberg auf.

9. Fazit

Basis für die erfolgreiche Einführung einer City-Maut ist, dass die City-Maut auch das vorherrschende Problem der Stadt löst bzw. die Stadt verkehrliche Problemstellungen aufweist, die mit einer Maut gelöst werden können. Dazu ist auch der verkehrspolitische Wille und Konsens Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche City-Maut Umsetzung. Durch verschiedene praxiserprobte Erhebungs- und Identifikationssysteme sind die nötigen technischen Voraussetzungen gegeben. Entscheidender Erfolgsfaktor ist aber die Akzeptanz der City-Maut in der Bevölkerung. Diese kann mittels transparenter Kommunikation, Bürgerbeteiligung, einer zielorientierten und transparenten Ausgestaltung der Maut gefördert werden. Modellversuche oder Testläufe können hilfreiche Erfahrungen für die spätere Umsetzung liefern. Ein attraktives und leistungsstarkes ÖPNV-Angebot ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor und dessen Förderung sollte im Zuge einer Gesamtstrategie neben der City-Maut mitberücksichtigt werden. Eine zweckgebundene Investition der Maut-Einnahmen in den ÖPNV bzw. in die Problembewältigung ist dabei ebenso zu beachten.

Für die Modellierung als auch für die Mautpreisermittlung für Nürnberg wurde ein für Nürnberg spezifischer VOT von 6,25 Euro pro Stunde unter Einbezug von wissenschaftlichen und empirischen Studien normiert. Die Berechnung der Höhe der Mautgebühr ergab einen Mautpreis von 3,50 Euro pro Tag, bzw. eine Gebühr von 0,94 Euro pro Fahrt im Mautgebiet. Die verkehrlichen Auswirkungen wurden anhand eines Verkehrsmodell von Nürnberg mit einer implementierten City-Maut bestimmt. Es ergibt sich eine deutliche Abnahme des MIV von 55,9 bzw. 9,4 Prozent im Maut- und Stadtgebiet. Der ÖV verzeichnet eine Zunahme von 16,5 bzw. 9,2 Prozent. Die City-Maut bewirkt sowohl eine Lenkungswirkung als auch Mobilitätsveränderung in Nürnberg. Die zurückgegangene Nachfrage des MIV ist auf den Umweltverbund umgestiegen.

In dieser Arbeit wurden ausschließlich der verkehrlichen Auswirkungen einer City-Maut am Beispiel der Stadt Nürnberg untersucht. Die umweltspezifischen Auswirkungen einer City-Maut, wie die Reduzierung von Schadstoffbelastungen oder eine Verringerung der Lärmbelastung sind Gegenstand zukünftiger Forschungen.

Literaturverzeichnis

- Axhausen K., Glemser A., Jödden C., Sauer A., Ehreke I., Hess S., Nagel K., Weis C. 2015. Schlussbericht: FE-Projekt-Nr. 96.996/2011 - Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich
- Bieler C., Sutter D. 2019. Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffverkehr 2017, Allianz pro Schiene e.V.
- Björjesson M., Kristoffersson I. 2017. The Swedish Congestion Charges: Ten Years On, CTS Working Paper 2017:2, Centre for Transport Studies, Stockholm
- Börjesson M., Levander A., Eliasson J. 2007. THE VALUE OF TIME OF CAR DRIVERS CHOOSING ROUTE: EVIDENCE FROM THE STOCKHOLM CONGESTION CHARGING TRIAL, Association for European Transport and contributors 2007
- Bundesamt für Strassen ASTRA 2021: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/nationalstrassen/verkehrsfluss-stauaufkommen/definitionen.html> (aufgerufen am: 04.03.2021)
- Bundeszentrale für politische Bildung, 2021. <https://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/pocket-europa/16844/kaufkraftparitaeten-kkp> (aufgerufen am: 05.03.2021)
- Christensen L., Kuhnimhof T., Hubert J., Schulz A., Kagerbauer M., Sobrino N. 2014. Improving comparability of survey results through ex-post harmonization – a case study with twelve European national travel surveys, 123 Paper for ISTSC in Sydney 16.-21. November 2014 - Workshop 6
- Cookson G., 2018. INRIX Global Traffic Scorecard, INRIX Research
- Croci, E. 2016. Urban road pricing: A comparative study on the experiences of London, Stockholm and Milan, Transportation Research Procedia, 14, 253-262 (S.256)
- Eliasson J. 2014. The Stockholm congestion charges: an overview, Centre for Transport Studies, CTS Working Paper 2014:7
- Erdmenger C., Dr. Hoffmann C., Lambrecht M. Wlodarski W. 2010. PKW-Maut in Deutschland? Eine umwelt- und verkehrspolitische Bewertung, Umweltbundesamt
- European Union, 2021. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Purchasing_power_standard_\(PPS\)/de](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Purchasing_power_standard_(PPS)/de) (aufgerufen am: 05.03.2021)
- Eurostat, 2020. BIP pro Kopf in den Regionen der EU
- Eurostat, 2020. BIP pro Kopf in den Regionen der EU, Regionales BIP pro Kopf 2018 reichte im Jahr 2018 von 30% bis 263% des EU-Durchschnitts, 38/2020
- Falck O., Fichtl A., Janko A., Kluth T., Wöfl A. 2020. Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München, ifo Institut, München
- Gerondeau C., 1998. Introductory Report on Traffic Congestion in Europe. In: ECMT (1999)

- Hagen T., Reining M. 2019. Übersicht über mögliche ökonomische Auswirkungen von City-Mauts, ReLUT - ResearchLab for Urban Transport, Frankfurt am Main
- Hensher D. A., 2001. The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specifications, Transportation
- INRIX 2021. <https://inrix.com/scorecard-city/?city=Nuremberg&index=85> (aufgerufen am: 15.04.2021)
- INRIX 2021. INRIX Verkehrsstudie: Stau verursacht Kosten in Milliardenhöhe, Pressemitteilung. <https://inrix.com/press-releases/2019-traffic-scorecard-german/> (aufgerufen am:15.04.2021))
- ITF (2019), What is the Value of Saving Travel Time?, ITF Roundtable Reports, No. 176, OECD Publishing, Paris.
- Ketzler M. 2008. Erfahrungen mit der City-Maut in Europa: Ökonomische Analyse und Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Städte am Beispiel Hamburg, Diplomarbeit, Universität Hamburg
- Kloas, J., Voigt, U. 2007.: Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 9, pp. 133-145
- Kossak A. 2008. Steuerung des städtischen KFZ-Verkehrs- Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen, Deutsches Institut für Urbanistik GmbH, Berlin
- Leih D., Siegl T., Hartmann M., 2014. City-Maut - Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen, Springer Vieweg, Wiesbaden
- Litman, T., 2020. Transportation Cost and Benefit Analysis II – Travel Time Costs, Victoria Transport Policy Institute
- Mackie P.J., Jara-Diaz S., Fowkes 2001. The Value of travel time savings in evaluation. Transport Research Part E (2001) 91-106 Manzi, L. 2015. Study on “State of the Art of Electronic Road Tolling”, MOVE/D3/2014-259
- Manzi, L. 2015. Study on “State of the Art of Electronic Road Tolling”, MOVE/D3/2014-259
- Meunier D., Quinet E. 2014. Value of Time estimations in Cost Benefit Analysis: the French experience, Transportation Research Procedia 8 (2015) 62 – 71
- Mietsch F. 2007. City-Maut - Internationale Erfahrungen, Perspektiven für Deutschland, Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin
- Nash, C., Shires, J., Link, H. 2010. Quantifizierung der sozialen Grenzkosten des Straßenverkehrs: welche sind die wichtigsten Komponenten?, Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung, ISSN 1861-1559, Duncker & Humblot, Berlin, Vol.79, Iss. 2, pp. 13-38,
- PTV AG, 2020. PTV Visum 2020 Handbuch, Karlsruhe
- Raub k., Liedtke G., Scholz A. 2011. Finanzielle Auswirkungen einer Pkw-Maut auf verschiedene Nutzergruppen, Arbeitspapiere Güterverkehr und Logistik, No. 00, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW)

- Rich, J., Vandet, C. A. (2019). Is the value of travel time savings increasing? Analysis throughout a financial crisis. *Transportation Research. Part A: Policy & Practice*, 124, 145-168.
- Sammer G. 2012. *Wirkungen und Risiken einer City-Maut als zentrale Säule eines städtischen Mobilitätskonzepts, Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität* Gabler Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden
- Schiller C. 2004. *Integration des ruhenden Verkehrs in die Verkehrsangebots- und Verkehrsnachfragemodellierung*, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, ISSN 1432-5500 Heft8/2004
- Schmall, K. 2012. *Valuation of Travel Time*, *Economics of Transportation*, 1(1), University of California at Irvine
- Schroten A., Van Essen H., Van Wijngaarden L., Sutter D., Adrew E. 2018. *Preliminary results of the study: "Sustainable Transport Infrastructure Charging and Internalisation of Transport Externalities: Main Findings"*, CE Delft, Delft
- Small K. A., 2012. *Valuation of Travel Time*, *Economics of Transportation*
- Small K., Verhoef E., 2007 *The Economics of Urban Transportation*, Routledge, New York, Abington
- Small, K., Nolan, R., Chu, X., Lewis, D. 1999. *Valuation of Travel-Time Savings and Predictability in Congested Conditions for Highway User-Cost Estimation*. NCHRP Report 431. Transport Research Board, National Research Council.
- Stadt Nürnberg Planungs- und Baureferat, Verkehrsplanungsamt, 2020. *VERKEHRSZÄHLUNG 2019*
- Steininger K., Gobiet W. 2005. *Technologien und Wirkungen von Pkw-Road Pricing im Vergleich*, Wegener Center Verlag, Graz
- Tompson J. M., 1978: *Grundlagen der Verkehrspolitik*, Bern, Stuttgart
- Zöbel J., Heidinger K., Jaeger F., Pluschke P., Herzer P., Mahr A. 2017. *Nürnberg nachhaltig mobil – City performance Tool – Air*, Siemens plc., Stadt Nürnberg

Prüfungsrechtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe. Alle wörtlich oder sinngemäß aus fremden Arbeiten entnommenen Ausführungen, bildliche Darstellungen und dergleichen sind als solche gekennzeichnet. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen.

Nürnberg, Donnerstag, 22. Juni 2023

Christopher Götz

Erklärung zur Veröffentlichung

Die Entscheidung über die vollständige oder auszugsweise Veröffentlichung der Abschlussarbeit liegt grundsätzlich erst einmal allein in der Zuständigkeit der/des studentischen Verfasserin/Verfassers. Nach dem Urheberrechtsgesetz (UrhG) erwirbt die Verfasserin/der Verfasser einer Abschlussarbeit mit Anfertigung ihrer/seiner Arbeit das alleinige Urheberrecht und grundsätzlich auch die hieraus resultierenden Nutzungsrechte wie z.B. Erstveröffentlichung (§ 12 UrhG), Verbreitung (§ 17 UrhG), Vervielfältigung (§ 16 UrhG), Online-Nutzung usw., also alle Rechte, die die nicht-kommerzielle oder kommerzielle Verwertung betreffen.

Die Hochschule und deren Beschäftigte werden Abschlussarbeiten oder Teile davon nicht ohne Zustimmung der/des studentischen Verfasserin/Verfassers veröffentlichen, insbesondere nicht öffentlich zugänglich in die Bibliothek der Hochschule einstellen.

Hiermit genehmige ich, wenn und soweit keine entgegenstehenden Vereinbarungen mit Dritten getroffen worden sind, dass die oben genannte Abschlussarbeit durch die Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, ggf. nach Ablauf einer mittels eines auf der Abschlussarbeit aufgebrachten Sperrvermerks kenntlich gemachten Sperrfrist **von 0 Jahren** (0 - 5 Jahren ab Datum der Abgabe der Arbeit), der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Im Falle der Genehmigung erfolgt diese unwiderruflich; hierzu wird der Abschlussarbeit ein Exemplar im digitalisierten PDF-Format auf einem Datenträger beigelegt. Bestimmungen der jeweils geltenden Studien- und Prüfungsordnung über Art und Umfang der im Rahmen der Arbeit abzugebenden Exemplare und Materialien werden hierdurch nicht berührt.

Nürnberg, Donnerstag, 22. Juni 2023

Christopher Götz