

# Bericht an den Gemeinderat

BearbeiterInnen: DI Dr. Werner Prutsch

Ausschuss für Umwelt und Gesundheit

BerichterstellerIn: .....

*Prokuratorin  
Krimshofer*

GZ: A23-028979/2013-0080

Graz, 14.06.2018

**Immissionsschutzgesetz Luft, IG-L  
Feinstaub- und Stickstoffdioxidbelastung  
(PM 10/NO<sub>2</sub>)  
Studie TU-Graz / UBA Wien: MASSNAHMEN ZUR  
VERBESSERUNG DER LUFTQUALITÄT IN GRAZ  
Informationsbericht**

Aufgrund eines Antrages in der Sitzung des Grazer Gemeinderates vom 16. Juni 2016 wurde in weiterer Folge der „Stadt-Land-Arbeitskreis“, bestehend aus Fachämtern des Landes Steiermark und der Stadt Graz mit der Ausarbeitung von entsprechenden Vorschlägen beauftragt. In weiterer Folge wurde im Auftrag des Amtes der Stmk. Landesregierung von der TU Graz gemeinsam mit dem Umweltbundesamt Wien die Studie „MASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER LUFTQUALITÄT IN GRAZ - Quantifizierung und Beurteilung“ erstellt.

Im Kapitel 6 – „SCHLUSSFOLGERUNG UND HANDLUNGSEMPFEHLUNG“ wird das Ergebnis **wie folgt zusammengefasst:**

*„Stellt man die Modellergebnisse der erforderlichen Emissionsreduktion gegenüber (vgl. Kapitel 4.2.4 Abschätzung der erforderlichen Schadstoffreduktion), wird klar, dass die Verordnung eines autofreien Tages pro Woche die Verkehrsemissionen nicht in ausreichendem Maße reduzieren würde. Falls ein Citymautsystem 2020 in Betrieb genommen werden kann, kann die Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup> aufgrund der Kombination der Maßnahmenwirkung mit der natürlichen Flottenerneuerung bereits gewährleistet werden. Es wird angemerkt, dass es sich hierbei um eine Abschätzung handelt. Um genauere Aussagen zur Wirkung der Maßnahmen auf die NO<sub>2</sub>- bzw. PM10-Belastung treffen zu können, wird eine anschließende Immissionsmodellierung angeraten.“*

*Die vergleichsweise hohe Emissionsreduktion von ca. 20% im Maßnahmengebiet in den Szenarien zur Citymaut basiert auf einer ähnlich starken Abnahme der Fahrleistung im jeweiligen Maßnahmengebiet. Weniger Verkehr bedeutet zugleich unter anderem weniger Stau und weniger Zeitverlust, einen geringeren Parkdruck und damit verfügbare Verkehrsfläche für den Umweltverbund, weniger Konfliktsituationen oder einen Anstieg der Energieeffizienz durch*

auf € 1,10 bis € 6,60 in Abhängigkeit der Tageszeit, zu der der Kontrollpunkt passiert wird.

Die Citymaut in Stockholm trat 2007 dauerhaft in Kraft. Dem zuvor ging ein mehrmonatiger Testbetrieb in dem unter anderem regelmäßig die Akzeptanz einer Citymaut abgefragt wurde. Die Besonderheit liegt darin, dass der Testbetrieb trotz mehrheitlicher Abneigung in der Bevölkerung begonnen wurde. Bis zum Ende des Testbetriebes sprach sich die Bevölkerung mehrheitlich für die dauerhafte Installation des Citymaut-Systems aus (vgl. Abbildung 4)

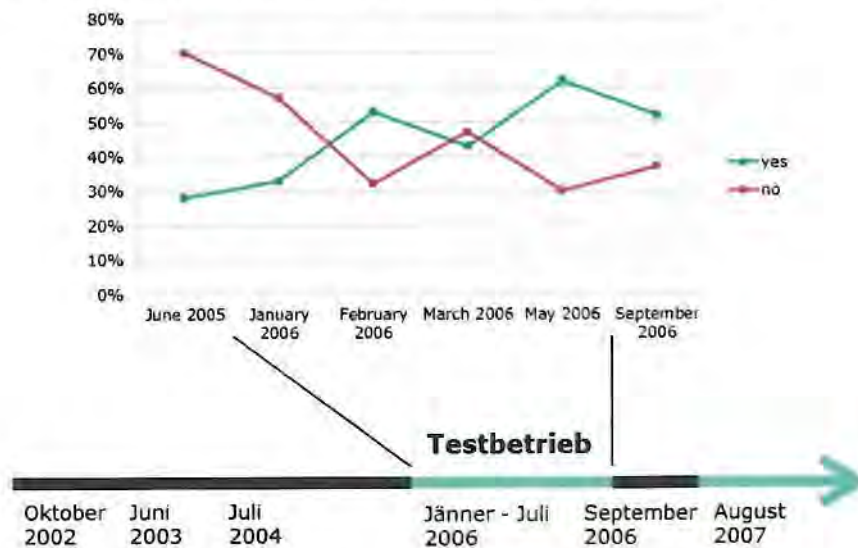


Abbildung 4: Entwicklung der öffentlichen Meinung zur dauerhaften Einrichtung eines Citymaut-Systems in Stockholm im Laufe eines Testbetriebes (Troeng, 2015).

Die Auswirkungen der Umweltzone sind durchwegs positiv, wenngleich nicht in jenem Ausmaß, dass man sich ursprünglich erhofft hatte. Das Verkehrsaufkommen konnte im Durchschnitt an allen Kordonpunkten bis 2011 um 20 % reduziert werden, die Verlustzeit<sup>1</sup> um bis zu 50 %. Bei den Emissionen konnte Reduktionen erzielt werden, wenngleich diese teilweise nur gering ausfielen: Kohlendioxid: -2 % im Großraum Stockholm und -13 % in der Innenstadt, Stickoxide: -1,3 % im Großraum Stockholm und -8,5 % in der Innenstadt. Darüber hinaus wurde ein signifikanter Anstieg von Neuzulassungen „umweltfreundlicher Fahrzeuge“ (CNG, EV, „low CO<sub>2</sub> cars“) beobachtet, die von der Gebühr ausgenommen sind. Diese Ausnahmen wurden mittlerweile aber zurückgenommen.

### 2.3 Autofreier Tag

Bereits in den 1950er und 1970er Jahren wurden von den Behörden einiger europäischer Ländern autofreie Tage in Form von selektiven Fahrverboten verordnet. Hintergrund war ein drohender Engpass der Erdölversorgung als Folge internationaler Konflikte bedeutender ölfördernder Länder des Nahen Ostens, bspw. im Rahmen der Sueskrise 1956 oder der Ölkrise 1973. Neben Deutschland und der Schweiz wurden im Jänner 1974 auch in Österreich autofreie Tage

<sup>1</sup> Unter der Verlustzeit versteht man die Differenz aus Reisezeit bei ungehinderter Fahrt und tatsächlicher Reisezeit



*Als Gesamtkonzept hat die Citymaut langfristig betrachtet Vorteile gegenüber dem autofreien Tag: eine deutlich stärkere Reduktion der Luftschadstoffemissionen und Einnahmen, mit denen erforderliche Ausbauten im ÖV-Angebot und aktiver Mobilitätsinfrastruktur ermöglicht werden können. Zudem kann die Gebühr an gewünschte Nachfrageeffekte angepasst werden.*

*Der autofreie Tag zeigt vergleichbar weniger Wirkung und erfordert zu Spitzenzeiten vermutlich ebenso wie die Einrichtung eines Citymaut-Systems ein erweitertes ÖV-Angebot, wobei keine Einnahmen zur Finanzierung generiert werden. Dafür erfordert die Maßnahme weniger administrativen Aufwand und geringere Investitionen und könnte daher schneller umsetzbar sein, was hinsichtlich einer Handlungsempfehlung zur kurzfristigen Reduktion der Luftschadstoffemissionen zu berücksichtigen ist.*

*Insgesamt wird, vorbehaltlich der Ergebnisse einer etwaigen Analyse wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Auswirkungen, die Einhebung einer Citymaut im bestehenden Sanierungsgebiet „Großraum Graz“ empfohlen. Die Frage nach der erforderlichen Höhe der Gebühren sollte im Rahmen der genannten Kosten-Nutzen-Analyse beantwortet werden. Falls eine zeitnahe Realisierung eines Citymaut-Systems in Graz innerhalb der kommenden zwei bis drei Jahre nicht zu erwarten ist, stellt die Verordnung autofreier Tage eine wertvolle Alternative dar.“*

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in „Tabelle 3: Änderung der Verkehrsemissionen relativ pro Werktag“ auf Seite 7 der beigefügten Studie.

Der Ausschuss für Umwelt und Gesundheit

stellt daher gemäß § 45 Abs. 6 des Statutes der Landeshauptstadt Graz, LGBl 130/1967,

den

## **Antrag,**

der Gemeinderat wolle beschließen:

Der vorliegende Informationsbericht wird zustimmend zur Kenntnis genommen.

Der Bearbeiter:

DI Dr. Werner Prutsch  
elektronisch unterschrieben

Der Abteilungsvorstand:

DI Dr. Werner Prutsch  
elektronisch unterschrieben

Die Stadträtin:

Tina Wirnsberger  
elektronisch unterschrieben

Gemeinderätin Mag. Astrid Schleicher

## Abänderungsantrag

An den Gemeinderat der  
Landeshauptstadt Graz

Graz, am 14.06.2018

Betreff: Stück Nr. 18 – GZ: A 23-028979/2013-0080  
**Abänderungsantrag**

**Abänderungsantrag**  
gem. § 21 der GO f. d. Gemeinderat  
der Landeshauptstadt Graz

Der Gemeinderat wolle beschließen:

**Im Antragstext wird das Wort „zustimmend“ entfernt.**

Stadsenats- bzw. Ausschußantrag  
wurde in der heutigen öffentlichen -  
~~nicht öffentlichen~~ - GR.-Sitzung  
*mit Mehrheit* ..... angenommen  
Graz, am *14.6.18* .....

Der Schriftführer



# MASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER LUFTQUALITÄT IN GRAZ

## Quantifizierung und Beurteilung

Martin DIPPOLD  
Martin FELLENDORF  
Stefan FLUCHER  
Michael HABERL  
Stefan HAUSBERGER  
Holger HEINFELLNER  
Karl HOFER  
Günther LICHTBLAU  
Christian NAGL

## INHALT

<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>4</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>9</b>
<b>2 AUSFÜHRUNGSMÖGLICHKEITEN DER MASSNAHMEN .....</b>	<b>11</b>
2.1 Parkraumbewirtschaftung .....	11
2.2 Citymaut.....	13
2.3 Autofreier Tag .....	17
<b>3 UNTERSUCHTE MASSNAHMEN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Wirkungsraum.....	20
3.1.1 Maßnahmensgebiet.....	20
3.1.2 Untersuchungsgebiet.....	21
3.2 Szenarien .....	22
3.2.1 Untersuchungsvorgaben der Citymaut .....	23
3.2.2 Untersuchungsvorgaben des autofreien Tages .....	24
3.2.3 Übersicht der untersuchten Planfälle.....	25
<b>4 MODELLIERUNG.....</b>	<b>28</b>
4.1 Verkehrsmodellierung.....	29
4.1.1 Modell .....	29
4.1.2 Methodik der Verkehrsnachfrageberechnungen .....	31
4.1.3 Ergebnisse der verkehrlichen Maßnahmen.....	37
4.2 Emissionsmodellierung .....	60
4.2.1 Modell .....	60
4.2.2 Methodik .....	62
4.2.3 Maßnahmenwirkungen auf die Emissionen.....	64
4.2.4 Abschätzung der erforderlichen Schadstoffreduktion.....	75
<b>5 DISKUSSION DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>77</b>
5.1 Wirkungsanalyse .....	77
5.2 Kostenanalyse .....	77
<b>6 SCHLUSSFOLGERUNG UND HANDLUNGSEMPFEHLUNG .....</b>	<b>80</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>82</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>84</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>85</b>
<b>APPENDIX VERKEHRSMODELL GUARD .....</b>	<b>87</b>



ung für ausgesuchte Fahrzeuggruppen (z.B. Einsatzfahrzeuge, Stadtbusse, etc.) wurden berücksichtigt.

Autofreie Tage wurden in Österreich in Folge von Versorgungsenpässen bei Kraftstoffen bereits in den 1950er und 1970er Jahren verordnet. In den 1990er Jahren wurde der (freiwillige) autofreie Tag aus bewusstseinsbildenden Gründen reaktiviert. Hinsichtlich der Verbesserung der Luftqualität können autofreie Tage einen Beitrag leisten. Die IG-L Abgasklassen-Kennzeichnungsverordnung bietet die Möglichkeit, Fahrverbote auf Basis des Schadstoffbeitrages des Fahrzeuges auszusprechen. Nachdem sich die Bevölkerung der Stadt Graz im Rahmen einer Bürgerbefragung im Jahr 2012 mehrheitlich (rund 70%) gegen die Einführung einer Umweltzone, welche eine ganzjährige Fahrbeschränkung und -verbote für Diesel-Pkw der Euro-Klassen 0, 1, 2 sowie 3 ohne Partikelfilter vorgesehen hätte, ausgesprochen hat, wurde in der vorliegenden Studie ein Fahrverbot in Abhängigkeit der letzten Ziffer des Kennzeichens angenommen, wobei je Werktag zwei Ziffern und damit grundsätzlich rund 20% aller Fahrzeuge betroffen sind. Ausnahmen wurden hier ebenfalls berücksichtigt.

Sowohl die Maßnahme der Citymaut, als auch der autofreie Tag wurde für das aktuelle Sanierungsgebiet „Großraum Graz“ sowie für ein um das Gratwein-Gratkorner-Becken erweitertes Maßnahmenggebiet analysiert. Die Erweiterung wurde deshalb berücksichtigt, da das Verkehrsgeschehen im Gratwein-Gratkorner-Becken ebenfalls Einfluss auf die Luftqualität im Nordwesten des Grazer Stadtgebietes haben könnte. Bei der Modellierung der Planfälle zum autofreien Tag wurde zudem unterschieden zwischen Szenarien, in denen Fahrten prinzipiell nicht auf einen anderen Tag verschoben werden (AF\_2.1, AF\_2.2), sowie Szenarien, in denen manche Fahrten (beispielsweise im Freizeitverkehr) auf einen anderen Tag verschoben und demnach über die gesamte Woche gesehen nicht eingespart werden (AF\_2.3, AF\_2.4). Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der analysierten Planfälle.

Tabelle 1: Übersicht Planfälle

		Basis_0	CM_1.1	CM_1.2	CM_1.3	CM_1.4	AF_2.1	AF_2.2	AF_2.3	AF_2.4
Gebiet	klein	X	X	X			X		X	
	groß	X			X	X		X		X
Gebühren	niedrig (3€ / Tag, Fzg.)		X		X					
	hoch (8€ / Tag, Fzg.)			X		X				
Zeitlich verschiebbare Aktivitäten	Nein	X	X	X	X	X	X	X		
	Ja								X	X

Die daraus berechneten Änderungen in der Verkehrsleistung sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Daraus wird ersichtlich, dass die größten Fahrleistungsre-



Die Ergebnisse der Emissionsmodellierung sind in Tabelle 3 zusammengefasst und zeigen, dass unter der Annahme einer 100%igen Gebührentrichtungsrate mit der Einhebung einer Citymaut in der Höhe von 8 € je Tag und Fahrzeug die größten Emissionseinsparungen erzielt werden können. Dies gilt gleichermaßen für die Emission von Kohlenstoffdioxid sowie die Emissionen der lokal wirksamen Luftschadstoffe Stickoxid und Feinstaub (PM<sub>10</sub>) aus der Verbrennung. Die Wirkung einer Citymaut mit reduzierter Tagesgebühr in der Höhe von 3 € liegt nur geringfügig darunter. Ein deutlicherer Abstand ergibt sich in den Szenarien zum autofreien Tag, in denen aber ebenfalls noch nennenswerte Reduktionen erzielt werden können. Auch hier ergeben sich in den beiden modellierten Maßnahmengebieten keine nennenswerten Unterschiede.

Tabelle 3: Änderung der Verkehrsemissionen relativ pro Werktag

Szenario	Fahrleistung		km/ht		CO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		PM <sub>10</sub> exh.	
	2018	2020	2018	2020	2018	2020	2018	2020	2018	2020
CM_1.1	-19.5%	-19.5%	4.5%	4.5%	-18.3%	-19.0%	-15.0%	-31.0%	-17.7%	-36.4%
CM_1.2	-22.8%	-22.8%	4.8%	4.8%	-20.8%	-21.6%	-17.2%	-32.8%	-20.2%	-38.4%
CM_1.3	-19.7%	-19.7%	4.5%	4.5%	-18.4%	-19.1%	-15.1%	-31.0%	-17.8%	-36.5%
CM_1.4	-22.8%	-22.8%	4.8%	4.8%	-20.8%	-21.5%	-17.2%	-32.8%	-20.2%	-38.4%
AF_2.1	-12.8%	-12.8%	3.3%	3.3%	-12.7%	-13.5%	-10.4%	-27.0%	-12.4%	-32.2%
AF_2.2	-13.0%	-13.0%	3.3%	3.3%	-12.8%	-13.6%	-10.5%	-27.1%	-12.5%	-32.3%
AF_2.3	-9.2%	-9.2%	2.3%	2.3%	-8.9%	-9.8%	-7.3%	-24.4%	-8.7%	-29.2%
AF_2.4	-9.3%	-9.3%	2.3%	2.3%	-8.9%	-9.8%	-7.4%	-24.4%	-8.7%	-29.2%

Die Systemkosten zur Realisierung der modellierten Maßnahmen ergeben sich vorrangig aus der technischen Ausgestaltung der Systeme, die für die Umsetzung der Maßnahme eingerichtet werden müssen. Die potentiellen Kosten unterliegen einer großen Bandbreite und können je nach Systemdesign auf einen fünfstelligen Betrag reduziert werden oder mehrere Millionen Euro ausmachen. Im Falle eines Citymautsystems stehen diesen Ausgaben darüber hinaus Einnahmen gegenüber. Aus diesem Grund ist eine belastbare Kostenabschätzung zu diesem Projektzeitpunkt nicht möglich. Es wird empfohlen, die angestrebte technische Ausgestaltung in einem ExpertInnengremium zu diskutieren und zu spezifizieren. Diese Definition soll als Grundlage für eine eingehende Kosten-Nutzen-Analyse dienen.

Eine Grobabschätzung zeigt, dass die aktuellen NO<sub>x</sub>-Emissionen an der Messstelle Graz-Don Bosco um rd. 20 % reduziert werden müssten, um die NO<sub>2</sub>-Belastung an besagter Messstelle auf den Grenzwert gemäß Luftqualitätsrichtlinie von 40 µg/m<sup>3</sup> einzuhalten. Die Einhaltung des IG-L-Grenzwerts von 30 µg/m<sup>3</sup> erfordert eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emission um 50 %. Stellt man die Modellergebnisse dieser erforderlichen Emissionsreduktion gegenüber, wird klar, dass die Verordnung autofreier Tage die Verkehrsemissionen bis 2020 nicht in ausreichendem Maße reduzieren würde. Allerdings werden die NO<sub>x</sub> Emissionen infolge der Flottenerneuerung nach 2020 weiter sinken. Bei Einrichtung eines Citymautsystems kann die Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup> aufgrund der Kombination der Maßnahmenwirkung mit der natürlichen Flottenerneuerung bereits 2020 gewährleistet werden. Ein Citymautsystem kann zudem signifikant positive Auswirkungen auf das Gesamtverkehrssystem



## 1 EINLEITUNG

Im Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L, BGBl. I 115/97, idgF) sind in Anlage I für verschiedene Luftschadstoffe Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt. Seit der Novelle zum IG-L im Jahr 2004 (BGBl. I 34/2004) ist gemäß Abschnitt 3a, § 9a bei Überschreitungen der Grenzwerte des IG-L, die nach dem 01.01.2005 aufgetreten sind, ein Maßnahmenprogramm zu erstellen. Mit einem solchen Programm soll die zukünftige Einhaltung der Grenzwerte sichergestellt werden.

Aufbauend auf den Zielsetzungen des Feinstaubprogramms Steiermark 2008 wurde mit Beschluss der Steiermärkischen Landesregierung vom 29.09.2011 das Luftreinhalteprogramm Steiermark 2011 „Maßnahmenprogramm zur nachhaltigen Verbesserung zur Luftgütesituation“ in Kraft gesetzt. Im September 2014 hat die Steiermärkische Landesregierung die Neufassung des Luftreinhalteprogramms für die Steiermark veröffentlicht. Diese umfasst unter anderem Maßnahmen in den Bereichen der Motorentechnik sowie im Verkehr im Allgemeinen.

Die Steiermärkische Luftreinhalteverordnung bildet die rechtliche Basis zur Umsetzung des Luftreinhalteprogramms und weist den „Großraum Graz“ als Sanierungsgebiet für den Luftschadstoff  $PM_{10}$  (Feinstaub) sowie für den Luftschadstoff  $NO_2$  aus. Zwar konnten mit den bisherigen Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität im Großraum bereits messbare Erfolge erzielt werden. Dennoch ist festzustellen, dass nach wie vor Grenzwertüberschreitungen auftreten und weitere Maßnahmen erforderlich sind. So wurde das für den Tagesmittelwert von  $PM_{10}$  festgelegte Grenzwertkriterium gemäß IG-L im Jahr 2016 an drei Messstellen in Graz überschritten, das Kriterium der Luftqualitätsrichtlinie an einer Messstelle. Im Jahr 2017 sind voraussichtlich fünf Messstellen von einer Grenzwertüberschreitung gemäß IG-L betroffen (zwei gemäß Luftqualitätsrichtlinie).

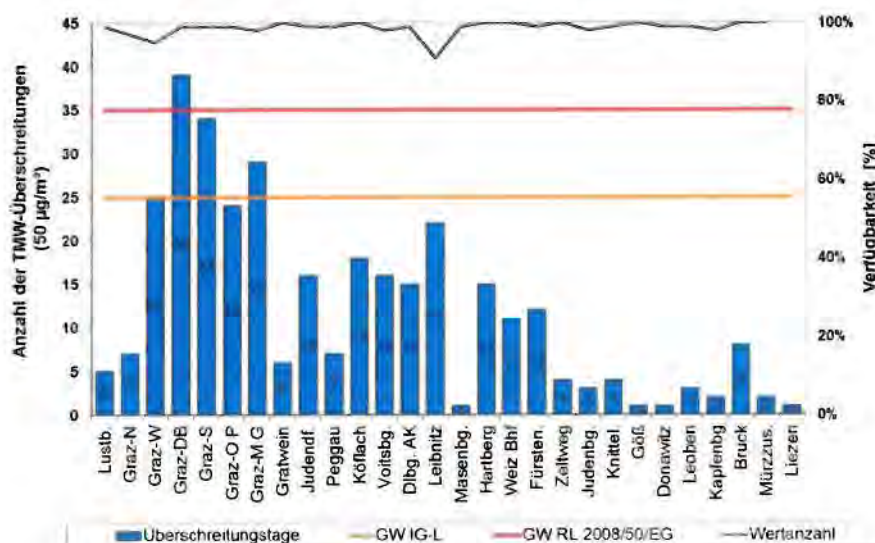


Abbildung 1:  $PM_{10}$ -Messungen in der Steiermark; Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittels von  $50 \mu g/m^3$ ; 2016 (ASL, 2017)

## 2 AUSFÜHRUNGSMÖGLICHKEITEN DER MASSNAHMEN

Die Gemeinsamkeit der zu untersuchenden Maßnahmen besteht in den Zielen, die mit der Umsetzung der Maßnahmen verfolgt werden:

- Verbesserung der Luftqualität durch eine Reduktion der verkehrsbedingten Luftschadstoffe,
- Erhöhung der Lebensqualität durch eine Verringerung der verkehrsbedingten Lärmbelastung,
- eine effizientere Nutzung der Verkehrsinfrastruktur durch eine Reduktion der Verkehrsmenge, eine Harmonisierung des Verkehrsflusses und eine Reduktion der Stautunden.

Im Falle der Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung sowie der Einrichtung eines Mautsystems werden zudem zusätzliche Einnahmen generiert. Diese können beispielsweise wiederum zweckgebunden in den Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs oder in die Förderung aktiver Mobilität reinvestiert werden.

Unterschiede in den zu untersuchenden Maßnahmen finden sich in der Funktionsweise, den Möglichkeiten der Ausgestaltung, der technischen Umsetzung und den Systemkosten. Nachfolgend werden die potentiellen Ausgestaltungsmöglichkeiten der drei zu untersuchenden Maßnahmen erläutert.

### 2.1 Parkraumbewirtschaftung

Parkraum wird vorrangig dort bewirtschaftet, wo die Zahl jener Fahrzeuge, die einen Stellplatz benötigen, die Zahl der verfügbaren Stellplätze übersteigt. In diesen Fällen ergibt sich, auch durch den Stellplatzsuchverkehr, ein erhöhtes Verkehrsaufkommen mit damit verbundenen erhöhten verkehrsbedingten Emissionen. Oft ist es das Bestreben nach Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen wie Lärm oder Luftschadstoffen, welches die Entscheidungsträger dazu motiviert, den vorhandenen Parkraum zu bewirtschaften um das Verkehrsaufkommen zu reduzieren.

Parkraumbewirtschaftung kann sich über einzelne Stellplätze oder ganze Zonen unterschiedlicher Ausdehnung erstrecken. Unterschieden werden beispielsweise, eventuell auf bestimmte NutzerInnengruppen eingeschränkte, temporäre oder dauerhafte Halte- und/oder Parkverbote mit oder ohne zu entrichtender Gebühr. Die Stellschrauben der Parkraumbewirtschaftung sind die Anzahl der Stellplätze, die Parkdauer sowie die Gebührenhöhe.

Kurzparkplätze und -zonen sind mit entsprechenden Verkehrszeichen gemäß § 52a, Lit. 13d StVO und meist zusätzlich mit blauen Bodenmarkierungen gekennzeichnet, wobei die Verkehrszeichen oft nur an den Einfahrten in die Zonen angebracht werden. Eine solche „Blaue (Kurzpark-)Zone“ existiert auch im Grazer Stadtgebiet. Darüber hinaus wurden im Sommer 2007 gebührenpflichtige Parkzonen eingerichtet, die sich von den „Blauen Zonen“ primär dahingehend unterscheiden, dass keine maximale Parkdauer gilt. Diese Zonen werden auch als „Grüne Zonen“ bezeichnet und sind auch mit einem in grün gehaltenen Verkehrszeichen versehen. Abbildung 2 zeigt die Ausdehnung der beiden Park-



	0,90 Euro zahlbar in 10-Cent-Schritten bis zur max. Parkdauer	de): 0,60 Euro zahlbar in 10-Cent-Schritten bis zur gewünschten Parkdauer  Tagesticket: 7 Euro, 2-Tagesticket: 14 Euro, im Voraus für bis zu 5 Tage (in großen Münzeinheiten)
<b>Entrichtung</b>	bei allen Parkscheinautomaten mit blauem Hinweiszeichen	bei allen Parkscheinautomaten mit grünem Hinweiszeichen

Der Vorteil in der Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung in Graz bestünde darin, dass sich die Kosten je nach Ausgestaltung auf zusätzliche Parkautomaten und Verkehrszeichen bzw. Anpassungen der Bodenmarkierung beschränken würden. Ein Nachteil der Parkraumbewirtschaftung im Allgemeinen liegt darin, dass Stellplätze auf privatem Grund von den entsprechenden Regelungen nicht erfasst werden. Graz verfügt über ein dichtes Angebot an privaten Abstellplätzen. Aus diesem Grund wurde von der ExpertInnengruppe festgehalten, dass durch eine weitere Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung keine nennenswerte Reduktion des Verkehrsaufkommen und demzufolge der verkehrsbedingten Emissionen mehr erzielt werden kann. Aus diesem Grund wurde die Maßnahme der Intensivierung der Parkraumbewirtschaftung nicht weiter verfolgt.

## 2.2 Citymaut

Als Citymaut wird die Einhebung von Gebühren für die Nutzung innerstädtischer Verkehrsinfrastruktur bezeichnet. Alternativ Begriffe dafür sind: Innenstadtmaut, Road-Pricing, Mobility-Pricing oder Congestion Charge. Europaweit wird derzeit in 17 Städten eine Citymaut eingehoben, 8 der 17 Städte befinden sich in Norwegen. In den 4 englischen Städten wird zwischen der Congestion Charge, die sich über Stadtteile von London und Durham erstreckt, und der Crossing Charge, die beim Überqueren von definierten Straßenabschnitten in Dartford und Liverpool zu entrichten ist, unterschieden. In den italienischen Städten Mailand und Palermo ist das Gebührensystem einer Citymaut zudem mit den Charakteristika einer Umweltzone kombiniert, in der die Möglichkeit der Einfahrt bzw. die Höhe der zu entrichtenden Gebühren vom Alter und der Abgasklasse des betreffenden Fahrzeuges abhängt. Tabelle 5 zeigt eine Auflistung der Citymaut-Systeme in Europa inklusive der Informationen zu den betreffenden Fahrzeugen und den Gebührenhöhen.

der Regel zusätzlich Videokameras eingesetzt, die im Falle von Kommunikationsproblemen und für das Enforcement bei Nichtentrichtung der Gebühren die betreffenden Fahrzeuge identifizieren sollen. Bei der ANPR basiert das gesamte System auf dem Einsatz von Videokameras, die jedes passierende Kennzeichen erfassen und mit einer Datenbank der eingegangenen Zahlungen vergleichen. Der Nachteil dieses Systems liegt darin, dass nicht alle Nummernschilder automatisch erkannt werden und somit eine manuelle Nachbearbeitung erforderlich wird.

Zwar wird beim ANPR-System fahrzeugseitig keine Hardware eingesetzt, dennoch sind sowohl das DSRC- als auch das ANPR-System mit hohen Kosten verbunden. Aus diesem Grund existieren weitere niederschwellige und kostengünstigere (statische) Methode. Hier kann beispielsweise die Gebührenentrichtung an bemannten oder unbemannten Stationen direkt auf der Strecke oder die Vergabe von Vignetten oder Einfahrtstickets für die Nutzung eines definierten Gebietes genannt werden. Ersteres kann jedoch in der Regel aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens in urbanen Räumen nicht umgesetzt werden und findet deshalb vorrangig am hochrangigen Straßennetz Anwendung. Die Kontrolle des Fließverkehrs kann preiswert z.B. im Rahmen von Verkehrskontrollen durch Exekutivbedienstete erfolgen, ist dann aber vermutlich nicht sehr dicht. Damit müssten hohe Strafen bei nicht korrekter Bezahlung vorgesehen werden. Soll die Kontrolle automatisiert erfolgen, müssen je nach Ausgestaltung des Systems erst wieder Kameras eingesetzt werden. Diese müssen Vignetten – die ASFINAG hat seit einigen Jahren ein System zur automatischen Vignettenkontrolle (AVK) im Einsatz – und / oder Kennzeichen erfassen können. Vignetten sind bei tagweisen Mautgebühren schlecht handhabbar, Jahres-Citymautgebühren hätten vermutlich kaum verkehrsmindernde Effekte. Im Falle einer Kennzeichenerfassung muss jedoch im Hintergrund wieder eine Datenbank zum Einsatz kommen.

### **Beispiel London**

Die *London Congestion Charge* wurde zum 17. Februar 2003 eingeführt und hat zum Ziel, dass der motorisierte Individualverkehr zu Gunsten des öffentlichen Personennahverkehrs reduziert wird. Dadurch sollen Staus und die damit verbundene Umweltverschmutzung reduziert werden. Ein Großteil der eingehobenen Gebühren wird in den Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs investiert.

Tagesgebühren in der Höhe von umgerechnet € 13 bis € 17 pro Tag sind dann zu entrichten, wenn von Montag bis Freitag zwischen 7:00 Uhr und 18:00 Uhr in die Gebührenzone (siehe ) eingefahren wird, wobei einige Fahrzeuge von der Gebühr ausgenommen sind. Dazu zählen beispielsweise Busse, Einsatzfahrzeuge, Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, Motorräder oder Taxis. Die Gebührenentrichtung hat im Vorfeld bzw. spätestens am Tag der Einfahrt in die Gebührenzone per SMS, PayPoint oder Telefon zu erfolgen. Danach erhöht sich die Tagesgebühr und es können Bußgelder schlagend werden.



die Kennzeichnung der Fahrzeuge in Abhängigkeit der Abgasklasse. Die Anzahl der betroffenen Fahrzeuge ergibt sich demnach durch die Abgrenzung der betroffenen Abgasklassen, wobei auch hier bestimmte Fahrzeuge vom Fahrverbot ausgenommen werden können. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass die tatsächlichen Hauptverursacher der Luftverschmutzung adressiert werden können. Als Nachteil wird oft soziale Ungerechtigkeit genannt, da von dieser Maßnahme vermehrt Halter von älteren Fahrzeugen betroffen sind.

§ 14 Abs. 1 IG-L können für Kraftfahrzeuge oder bestimmte Gruppen von Kraftfahrzeugen zeitliche und räumliche Beschränkungen des Verkehrs angeordnet werden. Als zeitliche und räumliche Beschränkungen gelten insbesondere dauernde oder vorübergehende:

1. Verbote für bestimmte Kraftfahrzeugklassen sowie Kraftfahrzeuge mit bestimmten Abgasklassen,
2. Verbote für Kraftfahrzeuge mit bestimmten Ladungen,
3. Fahrverbote für bestimmte Tage oder bestimmte Tageszeiten,
4. Anordnungen für den ruhenden Verkehr.

Die Ausnahmen sind in § 14 Abs. 2 IG-L definiert. Darüber hinaus wurde mit der IG-L Abgasklassen-Kennzeichnungsverordnung die Möglichkeit geschaffen, Fahrzeuge mit Plaketten in Abhängigkeit der jeweiligen Abgasklasse auszustatten (vgl. Abbildung 5). Damit ist für beide beschriebenen Ausgestaltungsformen temporärer Fahrverbote der erforderliche Rechtsrahmen bereits geschaffen.



Abbildung 5: Plaketten zur Kennzeichnung von Kraftfahrzeugen gemäß IG-L Abgasklassen-Kennzeichnungsverordnung.

Die Implementierung temporärer Fahrverbote ist insbesondere im Vergleich zur Einrichtung eines Citymautsystems aber auch im Vergleich zur Ausweitung der Parkraumbewirtschaftung mit geringen Kosten verbunden, die sich vorrangig durch einen erhöhten Exekutionsaufwand ergäben.

Gratkorner-Becken nördlich des Grazer Stadtgebietes von Bedeutung ist. Dieses Becken erstreckt sich über Teile der beiden gleichnamigen Gemeinden. Sowohl die Gemeinde Gratkorn, also auch die Katastralgemeinde Gratwein der Gemeinde Gratwein-Straßengel sind Teil des zweiten Sanierungsgebietes auf steirischem Gebiet. Dieses Sanierungsgebiet „Außeralpine Steiermark“ wird (mit Ausnahme des Autobahnabschnitts zwischen den Gratkornertunneln 3 und 4 und der Anschlussstelle Peggau-Deutschfeistritz an der A 9 Pyhrn Autobahn) aber lediglich als Sanierungsgebiet für den Luftschadstoff  $PM_{10}$  ausgewiesen.

**Es wird festgehalten, dass die Definition des Gratwein-Gratkorner-Beckens als Sanierungsgebiet für die Luftschadstoffe  $NO_2$  außerhalb des Autobahnkorridors und  $PM_{10}$  eine Novellierung der Steiermärkischen Luftreinhalteverordnung erfordert. Ob und unter welchen Voraussetzungen diese Möglichkeit besteht, ist juristisch zu beurteilen.**

Die räumliche Ausdehnung der Maßnahmenggebiete, in denen die Maßnahmen im Modell eingeführt sind, zeigt Abbildung 6.

### 3.1.2 Untersuchungsgebiet

Da die verkehrlichen Wirkungen auch über das Maßnahmenggebiet hinaus wirken, muss das verkehrlich wirksame Untersuchungsgebiet größer gewählt werden. Das Untersuchungsgebiet enthält auch Gemeinden der politischen Bezirke Voitsberg, Leibnitz, Deutschlandsberg und Weiz. Das Untersuchungsgebiet wurde aufgrund verkehrlicher Überlegungen festgelegt. Im Untersuchungsgebiet sind die wesentlichen Quell- und Zielverkehre des Maßnahmengbiets enthalten; d.h. mengenmäßig alle werktäglichen Fahrten, die Quelle oder Ziel im Maßnahmenggebiet haben.



### 3.2.1 Untersuchungsvorgaben der Citymaut

Die erste Maßnahme betrifft die Einführung einer regional begrenzten Straßenbenutzungsgebühr (vgl. Kapitel 2.2 Citymaut). Es werden unterschiedliche Ausprägungen der Citymaut untersucht, die sich im Kostensatz und der räumlichen Ausdehnung unterscheiden.

Die räumliche Ausdehnung folgt den Ausführungen des vorangehenden Kapitels 3.1.2 Untersuchungsgebiet. Es wird ein kleines Maßnahmengebiet und ein große Maßnahmengebiet unterschieden, wobei jeweils die Stadt Graz und das südliche Gemeinden des Sanierungsgebietes IG-L in den beiden Maßnahmengebieten liegt. Das große Maßnahmengebiet wird um das nördlich von Graz gelegene Gratwein-Gratkorn-Becken erweitert.

Eine fahrleistungsabhängige Citymaut nach Vorbild aus Singapur ist schwer umsetzbar, da jedes KFZ eine On-Board Unit mitführen müsste, um darauf basierend die Kosten kilometerabhängig berechnen zu können. Die Gebühren werden in Singapur vollelektronisch mittels DSRC-System erhoben. Jedes Fahrzeug führt eine On-Board Unit (Transponder) mit sich, in der sich eine „Cash Card“ befindet. Bei jedem Durchschreiten einer Mautstation werden die fälligen Gebühren direkt von der „Cash Card“ abgebucht. Die Investitionskosten und die operativen Kosten sind dabei möglicherweise nicht das größte Hindernis, sondern vielmehr die Wahrung des Datenschutzes und der Eingriff in Persönlichkeitsrechte. Technisch ähnlich aufwändig und datenschutzrechtlich problematisch wäre ein GPS/GSM-basiertes Erfassungs- und Bezahlsystem.

Aus diesem Grund wird in dieser Studie für Graz ein Kordonsystem zugrunde gelegt. Fahrten innerhalb des Maßnahmengebiets (=Kordon) sind kostenpflichtig. Es ist eine einmalige Tagesgebühr unabhängig von der zurückgelegten Wegstrecke oder Fahrtenanzahl zu entrichten. Fahrten auf der Autobahn sind für alle Kfz kostenfrei. Von der Citymaut sind generell Fahrzeuge des Öffentlichen Verkehrs, Taxis, Einsatzfahrzeuge, Ärzte im Dienst, Zweiräder und gewerblich genutzte Fahrzeuge ausgenommen. In der vorliegenden Studie wird die Möglichkeit, dass einige Betroffene zusätzlich zweirädrige Kraftfahrzeuge anschaffen könnten, um damit den Kosten einer Citymaut zu entgehen, außer Acht gelassen.

In der Projektsitzung vom 16.08.2017 wurden zwei Kostensätze unter Einbezug von VertreterInnen der Steiermärkischen Landesregierung und der Grazer Stadtverwaltung festgelegt. Die Gebühren für ein Tagesticket werden mit 3 € bzw. 8 € pro Tag und Kraftfahrzeug angenommen. Ein Tagesticket ist erforderlich, sobald das KFZ im Maßnahmengebiet auf öffentlichen Straßen bewegt wird. Damit sind sowohl Quell-, Ziel und Binnenfahrten im Maßnahmengebiet ohne Berücksichtigung der zurückgelegten Wegstrecke kostenpflichtig. Die Festlegung der Kostensätze erfolgte einerseits anhand von Referenzstädten und den derzeitigen Kosten für ein Tagesticket für den Öffentlichen Verkehr. Das niedrige Tagesticket für die Citymaut liegt unterhalb des ÖV-Tagestickets, das höher liegt darüber.

Die technischen Details der Gebührenerhebung sind nicht Bestandteil dieser Studie. Es sein dennoch angemerkt, dass von einem elektronisch zu bezahlendem Tagesticket ausgegangen wird, das ähnlich wie das derzeitige Handy-Parken funktioniert. Die Kfz-LenkerIn entrichtet die Gebühr vor Einfahrt in das



Dabei sind die KFZ mit jeweils zwei Endziffern (0-9) pro Werktag betroffen. Demnach wirkt der autofreie Tag für etwa 20% der KFZ pro Werktag. Eine zusätzliche Motivation sich ein Wunschkennzeichen zuzulegen gilt als eine wahrscheinliche Reaktion der Bevölkerung. Somit kann es zu uneinheitlichen Wirkungsweisen des autofreien Tages je nach betroffenem Werktag kommen. Dem mittleren Werktag wird jedoch in dieser Studie die Wirkung der Maßnahme auf 20% der KFZ unterstellt.

Die Szenarien des autofreien Tages werden abermals in ein kleines Maßnahmengebiet (Graz und südliche Gemeinden des Sanierungsgebietes IG-L) und ein große Maßnahmengebiet (kleines Maßnahmengebiet inkl. Gratwein-Gratkorner-Becken) unterschieden.

Die Szenarien des autofreien Tages werden zudem mittels zwei unterschiedlichen Methoden berechnet, wobei eine Methode auch zeitliche Verschiebungen von Aktivitäten von einem Werktag auf einen anderen Werktag zulässt, was Einfluss auf die Modellierung der Verkehrsmittelwahl und damit direkt auf die Ergebnisse hat (näheres dazu in Kapitel 4.1.2.2 Methodik der Planfälle mit Citymaut als Maßnahme).

Wie im Fall der Citymaut sind Fahrten auf der Autobahn ebenso vom autofreien Tag ausgenommen wie der Öffentliche Verkehr, Taxis, Einsatzfahrzeuge, Ärzte im Dienst, Zweiräder und gewerblich genutzte Fahrzeuge. Auch hier wird darauf hingewiesen, dass die Bevölkerung die Option hat sich zusätzliche Kraftfahrzeuge anzuschaffen, seien es motorisierte Zweiräder oder im Fall des autofreien Tages auch zusätzliche Zweitautos mit anderen Endkennziffern. Im Rahmen dieser Studie werden derartige Umgehungsstrategien in den Modellrechnungen nicht berücksichtigt.

Es wird abermalig von einer Befolgsrate von 100% ausgegangen um ein maximales Reduktionspotential bestimmen zu können. Die Einhaltung der Maßnahme ist jedoch auch hier stark von dem Enforcement-System abhängig (automatisches Enforcement oder manuelles Enforcement). Vorteilhaft kann sich beim Enforcement des autofreien Tages auswirken, dass die verbotenen Kennziffern eines Tages der Bevölkerung wohl bekannt sind, und es dadurch zu einer zusätzlichen Kontrolle von außen kommen kann, die zwar nicht exekutierbar ist, jedoch dennoch einen Effekt auf die Befolgsrate verspricht.

### 3.2.3 Übersicht der untersuchten Planfälle

Jeweils zweimal vier Maßnahmenplanfälle werden mit einem Referenzplanfall verglichen (Tabelle 7). Der Referenzplanfall Basis\_0 repräsentiert die heutige Situation ohne jegliche Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität. Die Planfälle CM\_1.1 bis CM\_1.4 betreffen die Maßnahmen einer Citymaut innerhalb des kleinen oder großen Maßnahmengebietes (ohne bzw. mit Gratwein-Gratkorner-Becken). Die Planfälle der Citymaut unterscheiden sich zudem anhand der Nutzungsgebühr von 3 € oder 8 € je Tag und Fahrzeug. Die Planfälle AF\_2.1 bis AF\_2.4 bilden die Einführung eines autofreien Tages ab, welcher wiederum im kleinen oder großen Maßnahmengebiet gültig ist. Zusätzlich wird bei AF\_2.3 (bzw. 2.4) gegenüber AF2.1 (bzw. 2.2) eine mögliche Verschiebung nicht täglicher Einkaufs- oder Freizeitfahrten berücksichtigt.



- Fahrten auf der Autobahn sind im Maßnahmengebiet der Citymaut erlaubt.
- Der Öffentliche Verkehr, Busse, Taxis, Einsatzfahrzeuge, Ärzte im Dienst, 2 Räder und gewerbliche Fahrzeuge dürfen fahren.
- Auf die Möglichkeit der Anschaffungen von Zweitwagen oder zusätzlichen Zweirädern wird in dieser Studie hingewiesen, diese jedoch nicht quantifiziert.
- Es werden Planfälle der Citymaut mit Tagesgebühren in der Höhe von 3 € und 8 € in der Studie untersucht.

## 4.1 Verkehrsmodellierung

Grundlegend dienen makroskopische Verkehrsnachfragemodelle der Wirkungsermittlung im Rahmen eines Verkehrsplanungsprozesses. Makroskopische Verkehrsnachfragemodelle sind Teil einer formalen Wirkungsermittlung und bilden Ortsveränderungen von Personen (und Gütern) modellhaft ab. Verkehrsmodelle können sowohl zur Analyse des IST-Zustandes als auch für prognostizierte Planungszustände (Szenarien) eingesetzt werden, wie in dieser Studie zur Abbildung der Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in Graz notwendig wird. Anhand quantitativ ermittelbarer Kenngrößen werden Veränderungen einzelner Planungsvarianten gegenüber dem IST-Zustand bestimmt.

### 4.1.1 Modell

Im Rahmen des Forschungsprojekts GUARD (TU Graz ISV & verkehrplus, 2011) hat das Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz die Grundlagen für ein Verkehrsnachfragemodell für den Großraum Graz entwickelt. Im Zuge anderer Forschungen am Institut für Straßen- und Verkehrswesen, z.B. „stündliche vs tagesgenaue Emissionen“ (Neuhold, Cik, & Fellendorf, 2011), „Weißbuch GKB 2025+“ (Walter & Fellendorf, 2015) und „Verkehrskonzept für die Radkersburger Bahn“, wurde das Modell weiterentwickelt. Das Untersuchungsgebiet des multimodalen Verkehrsmodells in GUARD umfasst den Nahverkehrsraum Graz bis zur slowenischen Grenze.

Das GUARD-Modell stützt sich auf eine stundenfeine Berechnung der Verkehrsnachfrage, welche auf Basis von Wegeketten für unterschiedliche Aktivitäten und für 13 verhaltenshomogene Personengruppen (VHG) erfolgt. Im Modell werden 8 verschiedene Aktivitäten definiert, wobei jede Wegekette in der Wohnung beginnt und endet. Jede VHG hat eine spezifische Wahrscheinlichkeit, mit der sie innerhalb eines Tages eine oder mehrere Wegeketten durchläuft. Die Verkehrsnachfrageberechnungen werden für die Verkehrsmittel Fuß, Rad, ÖV, Pkw-Selbstfahrer und Pkw-Mitfahrer erstellt. Zusätzlich werden für eine belastungsabhängige Verkehrsumlegung die Nachfrage des Lkw-, des Pkw-Fern- und Pkw-Wirtschaftsverkehrs berücksichtigt.

Das zugrundeliegende Straßennetz wurde aus dem Integrierten Wegenetz (IWN) des Landes Steiermark entwickelt. Das im Modell abgebildete ÖV-Angebot (inklusive der Fahrpläne) wurde innerhalb der vorliegenden Studie auf das Bezugsjahr 2016 aktualisiert. Von den insgesamt 983 Verkehrszellen entfallen 290 auf das Grazer Stadtgebiet und 564 Verkehrszellen fallen in das Untersuchungsgebiet der in dieser Studie zu untersuchenden Maßnahmen. Das modellierte Gebiet ist größer als das Untersuchungsgebiet für diese Studie. Modelliert wird die Steiermark ohne die Obersteiermark. Den nördlichen Abschluss bildet die Alpenkette am Gleinalm. Das Modellgebiet ist im Apendix dargestellt.

In der Abbildung 7 wird der Verfahrensablauf des Verkehrsmodells GUARD dargestellt. Die Verkehrsnachfrageermittlung beginnt mit der **Verkehrserzeugung**. Die in jeder Verkehrszelle generierte Fahrtanzahl wird anhand von Erzeugungsraten (z.B. Fahrten pro Tag pro Erwerbstätigem mit Pkw) und zellspezifischen Strukturdaten (z.B. Anzahl Erwerbstätiger in der Verkehrszelle) ermittelt. Die Erzeugungsraten hängen von den Charakteristika der verhaltenshomo-



#### 4.1.2 Methodik der Verkehrsnachfrageberechnungen

Das gegenständliche Kapitel beschreibt in Kürze die angewandte Methodik bei der Modellierung des Basisfalls und der Planfälle. Dabei musste die Standard-Methodik des Basisfalls für die Maßnahmen in den Planfällen des autofreien Tages und der Citymaut angepasst und adaptiert werden.

Gemäß der RVS 02.01.11 (FSV, 2013) wird jedes Verkehrsmodell auf einen Analysereferenzplanfall zum Analysezeitpunkt  $t_0$  kalibriert. Für das gegenständliche Projekt wurde als Analysereferenzzeitpunkt  $t_0$  das Jahr 2016 gewählt, da zum Projektbeginn für das Jahr 2016 relevante Strukturdaten, notwendige Eingangsgrößen für das Verkehrsangebot und Verkehrszählungen für die Modellkalibrierung vorlagen. In der Grundstruktur konnte das Nachfragemodell aus den Vorprojekten übernommen werden. Änderungen betreffen:

- Anpassung der Strukturdaten; d.h. Einwohner und Arbeitsplätze wurden für das neue Analysereferenzjahr 2016 in das Nachfragemodell eingefügt.
- Im Zuge der Aktualisierungsarbeiten auf den Analysereferenzzeitpunkt wurden die bestehenden Fahrpläne durch den Import der Fahrpläne des Jahres 2016 ersetzt.
- Das Verkehrsnachfragemodell wurde in der VISEM-Zielwahl/Moduswahl im Zuge dieser Studie um eine Kostenkomponente in den Widerstandsfunktionen erweitert. Dabei existieren in der Basisversion variable Kosten der Kraftstoffkosten beim MIV und Ticketpreise beim ÖV.
- Für die Kalibrierung wurden die Verkehrszählungen für das Jahr 2016 in das Modell eingepflegt. Insgesamt liegen stundenfeine Verkehrszählungen für 57 Straßenquerschnitte vor. Zur Kalibrierung des ÖVs wurden Daten der Graz Holding für den Grazer Verkehr sowie Daten der ÖBB verwendet. Als Grundlage zur Kalibrierung der Pendlerströme nach Graz wurden Pendlerstatistiken verwendet.

##### 4.1.2.1 Methodik des Basisfalls

Der Basisfall des Verkehrsmodells GUARD folgt einem Aktivitätenkettenbasierten VISEM-Ansatz. Dabei bilden die Verhaltensdaten, die Raumstrukturdaten und das Netzangebot des Individualverkehrs aber auch des öffentlichen Verkehrs, in der Form des Fahrplans, die Ausgangsbasis. Innerhalb der Studie wurde bereits im Basisfall der Fahrplan des öffentlichen Verkehrs auf das Jahr 2016 erneuert. Auch das Netzangebot des Individualverkehrs wurde angepasst und erweitert.

Die zuvor genannten Eingangs- und Strukturdaten bilden die Basis für den ersten Schritt der Nachfrageberechnung, der Verkehrserzeugung. Die danach anschließende simultane Verkehrsverteilung und -aufteilung, also die Ziel- und Moduswahl, erzeugt die Nachfragematrizen der einzelnen Verkehrsmodi. Innerhalb der simultanen Nachfrageberechnung werden die Ziele und die Verkehrsmodi zur Erreichung dieser Ziele für die in der Verkehrserzeugung berechneten Wegeketten bestimmt. Die unterschiedlichen Quell- und Zielaktivitäten und die einzelnen verhaltenshomogenen Personengruppe werden gesondert betrachtet, und zeigt sich in den unterschiedlichen Widerstandsfunktionen innerhalb des simultanen Verfahrensschrittes.

dem. Damit wird erreicht, dass die Ziele ident bleiben, jedoch auf Basis der Citymaut ein anderes Verkehrsmittel gewählt wird. Für die 7 VHGs ohne PKW-Verfügbarkeit genügt die in VISEM 1 durchgeführte Moduswahl, um Nachfragematrizen in der Umlegung zu berücksichtigen.

Parallel zur VISEM 1 Berechnung wird eine VISEM 2 Berechnung durchgeführt, welche bereits in den simultanen Rechenschritten in der Moduswahl die Kostenkomponenten einer Citymaut beinhalten. VISEM 2 konzentriert sich insbesondere auf die Zielaktivitäten Einkaufen (E) und Freizeit (F). Es wird angenommen, dass die Personen bei Einführung einer Citymaut nicht zwingend ihrer Zielwahl zum Einkaufen und für Freizeitaktivitäten treu bleiben müssen. Es könnten andere Ziele gewählt werden, welche einen geringeren Widerstand aufweisen, als die nunmehr durch die Citymautkosten erhöhten Widerstände im Maßnahmensgebiet.

Während die Nachfragematrizen aus VISEM 2 für Aktivitätenpaare vom Quell-Ziel-Gruppen Typ 1 und 2, mit Wohnen als Quell- oder Zielaktivität, direkt in der Umlegung berücksichtigt werden können, werden für die Zielwahlmatrizen vom Quell-Ziel-Gruppen Typ 3, mit der Aktivität Wohnen weder als Quelle noch als Ziel, in einer weiteren Moduswahl mit der Kostenkomponente der Citymaut die Verkehrsmittel gewählt. Der Grund hierfür ist, dass die Kosten der Citymaut für eine Person an einem Tag nur einmal getragen werden muss. Bei Fahrten mit der Aktivität Wohnen als Zielaktivität (Quell-Ziel-Gruppen Typ 2) kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten bereits in einer der bereits absolvierten Aktivitätenpaaren abgegolten wurde. Bei Fahrten mit der Aktivität Wohnen als Quellaktivität (Quell-Ziel-Gruppen Typ1) wird innerhalb der Methodik zur Modellierung der Citymaut die Tagesganglinien für diverse Aktivitäten herangezogen, um festzulegen, ob Kosten durch die Citymaut anfallen oder nicht. Dieser Umstand gilt auch für die Quell-Ziel-Gruppen Typ 3, mit der Aktivität Wohnen weder als Quelle noch als Ziel und damit ohne quell- oder zieleseitigen Fixierung.

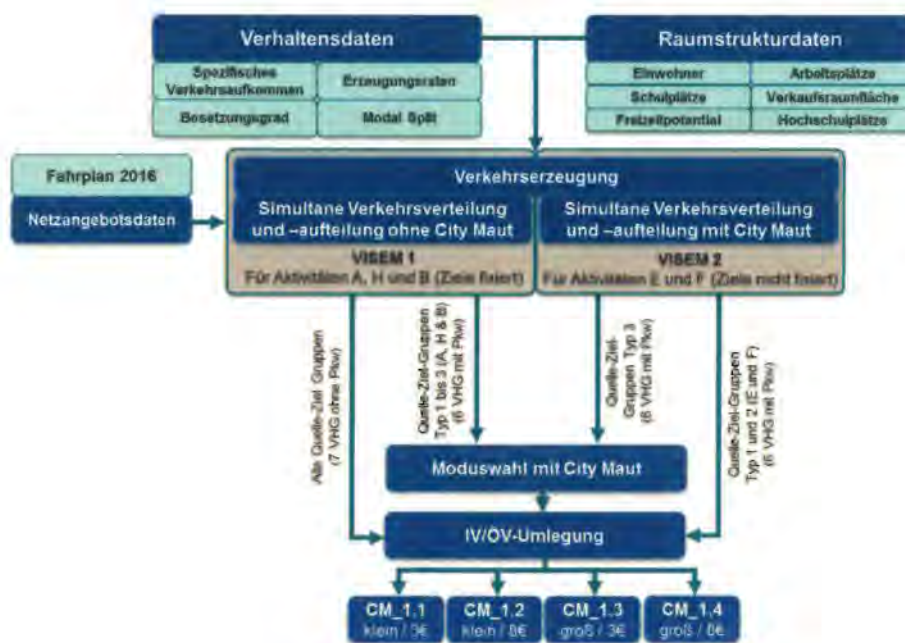


Abbildung 9: Methodikübersicht Citymaut



stammenden Erzeugungsrate für die Wegeketten an dem modellierten Werktag eingehalten werden. Bei der zweiten Möglichkeit wird davon ausgegangen, dass man bestimmte Aktivitäten (Einkaufen, Freizeit) auch an einem anderen Tag nachholen kann und es zu einer zeitlichen Verschiebung der Fahrt kommt.

Für die erste Option ohne zeitlicher Verschiebung wird innerhalb der Nachfrageberechnung nach dem simultanen Nachfrageberechnungsschritt von VISEM für die 20% der betroffenen Personen eine weitere Verkehrsmittelwahl angeschlossen, ohne Moduswahlmöglichkeit für den Pkw. Je nach Definition des Maßnahmengbietes, kleines Gebiet (Planfall AF\_2.1) oder großes Gebiet inkl. Gratkorn-Becken (Planfall AF\_2.2), sind unterschiedliche Personenanzahlen von der Maßnahme betroffen. Ein wichtiger Umstand betrifft die Zielwahl innerhalb des autofreien Tages, die trotz der Maßnahme nicht geändert wird.

Die restlichen 80% dieser 6 VHGs sind ohnehin nicht vom autofreien Tag betroffen und können unbeeinflusst ihren Modus, darunter zählt auch der PKW, frei wählen. Ohne einem Zwischenschritt nach der VISEM Nachfrageberechnung finden die Nachfragematrizen Eingang in die Umlegungsberechnung und Routenwahl. Die übrigen 7 verhaltenshomogenen Personengruppen sind ebenfalls nicht von dem autofreien Tag betroffen, da sie ohnehin keinen PKW zur Verfügung haben und somit im Schritt der VISEM-Moduswahl keine Möglichkeit besitzen einen PKW als Verkehrsmittel zu wählen. Die Nachfragematrizen dieser 7 VHGs können direkt aus der VISEM Berechnung in der Umlegung herangezogen werden.

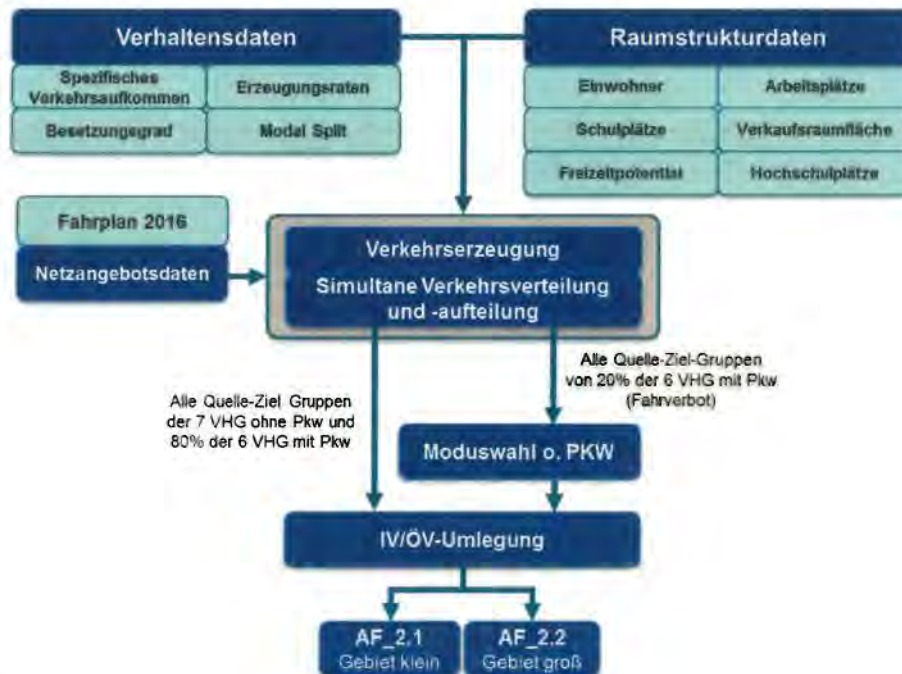


Abbildung 10: Methodikübersicht autofreier Tag ohne zeitlicher Verschiebung

Während Fahrten mit den Zielaktivitäten Arbeiten, Hochschule und Bildung (umfasst Grundschule, Schule und Berufsschule) auch an dem autofreien Tag durchgeführt werden müssen, ist die zwingend Durchführung von Fahrten der Zielaktivität Einkaufen und Freizeit nicht notwendig, da die betroffenen Perso-

### 4.1.3 Ergebnisse der verkehrlichen Maßnahmen

Die nachfolgenden Abschnitte behandeln die Veränderungen diverser verkehrlicher KPI's (Key Performance Indikatoren), mit deren Hilfe die verkehrlichen Wirkungen der einzelnen Planfälle der Citymaut und des autofreien Tages im Vergleich zum Basisfall bewertet werden können. Zuerst wird auf die Modalsplit-Veränderungen in der Stadt Graz sowie im Maßnahmen- bzw. Untersuchungsgebiet eingegangen und diese analysiert. Weiters wird die Verkehrsleistung des mIV in den einzelnen Planfällen genauer unter die Lupe genommen und gegenübergestellt. Anschließend folgen Analysen zum Quell- und Zielverkehr in das Maßnahmengebiet bzw. ins Grazer Stadtgebiet. Abschließend werden auch die verkehrliche Auswirkungen auf das Straßennetz und die Veränderungen der ÖV-Auslastungen quantifiziert. Dies ist insbesondere deswegen von hoher Wichtigkeit, da diverse ÖV-Linien (Regionalbusse, Züge) bereits im Bestand in den Spitzenzeiten von Kapazitätsproblemen betroffen sind. Diese werden durch Verlagerungen der Fahrten vom mIV auf den ÖV vermutlich weiter verschärft. Bei einer etwaigen Umsetzung einer der Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität gibt somit diese Studie bereits erste Hinweise, in welchem Ausmaß das ÖV-Angebot ausgebaut werden müsste, um die potentiellen ÖV-Fahrten transportieren zu können.

#### 4.1.3.1 Modalsplit-Veränderungen

Die folgenden Analysen der Modalsplit-Veränderungen erfolgen für unterschiedliche räumliche Gebiete und werden zudem in Verkehrsarten (Binnen-, Quell-, Zielverkehr) unterschieden.

##### Modal Split Binnenverkehr im Grazer Stadtgebiet

Im Binnenverkehr der Stadt Graz weist der Modal Split im Basisfall einen Anteil von 31 % PKW-Fahrten auf. Dieser Anteil wird in den Planfällen erwartungsgemäß verringert. In den Planfällen der Citymaut CM\_1.1 (kleines Gebiet) und CM\_1.3 (großes Gebiet) verringert sich der PKW-Anteil um 9,2% auf 21,8%. Man erkennt, dass im Binnenverkehr von Graz keine Unterschiede durch die Größe des Maßnahmengebietes (mit oder ohne Gratwein-Gratkorner-Becken) auftreten. Die 9,2 % des PKW-Anteils verteilen sich auf die übrigen vier Verkehrsmittel, wobei der Fußgängerverkehr erwartungsgemäß die geringsten Zunahmen (+1,2 %) durch die eingesparten PKW-Fahrten erfährt. Während der ÖV den höchsten Zuwachs am Modal Split mit +3 % bekommt, liegen die Zunahmen der Anteile für Rad und PKW-Mitfahrer bei +2,6 %.

Die weiteren Planfälle der Citymaut, CM\_1.2 und CM\_1.4 unterscheiden sich wiederum in der Größe des Maßnahmengebietes, wobei in den Modalsplit-Veränderungen kaum Unterschiede erkennbar werden. Im Vergleich zum Basisfall werden jedoch 10,3 % der PKW-Fahrten auf alternative Verkehrsmittel verlagert und damit 1,1 % mehr als bei den Planfällen CM\_1.1 und CM\_1.3. Damit wird ersichtlich, dass die höheren Gebühren in den Planfällen CM\_1.2 und CM\_1.4 (jeweils 8€) im Vergleich zu den Planfällen CM\_1.1 und CM\_1.3 (jeweils 3€) den zu erwartenden Effekt zeigen. Die Veränderungen des Modalsplits verlaufen jedoch nicht linear mit den Kosten, da es noch viele andere Einflussfaktoren (variable Kosten, Reisezeiten, Zu- und Abgangszeiten, Umsteigewiderstände im ÖV, etc.) in den Widerstandsfunktionen bei der Modus-



und CM\_1.4) sind ident mit jenen der kleineren Gebieten (CM\_1.1 und CM\_1.2), wobei man den CM\_1.1 mit dem CM\_1.3 und den CM\_1.2 mit dem CM\_1.4 vergleichen muss, da diese jeweils die gleichen Nutzungsgebühren von 3 bzw. 8€ aufweisen. Der PKW-Anteil nimmt bei höheren Gebühren (CM\_1.2 und CM\_1.4) erwartungsgemäß stärker ab als bei niedrigen Gebühren (CM\_1.1 und CM\_1.3). Auch hier ist kein linearer Zusammenhang zwischen den Kosten und den Verkehrsverlagerungen ersichtlich, was so auch nicht zu erwarten war.

Während der PKW-Anteil in den Citymaut-Planfällen um 10 % bis 11 % sinkt, sinkt dieser bei den Planfällen AF\_2.1 und AF\_2.2 des autofreien Tages um lediglich 8 % und bei den Planfällen AF\_2.3 und AF\_2.4 um nur noch 4,1 % im Vergleich zum Basisfall. Die Aufteilung der Modal Split Anteile folgen anteilmäßig jenen bei den Citymaut-Planfällen. Somit steigt der Mitfahrer-Anteil um 3,2 % an, der ÖV-Anteil um 3,5 %, der Radanteil um rund 1,0 % und der Fußgänger-Anteil um 1,4 % in den Planfällen AF\_2.1 und AF\_2.2. In den Planfällen AF\_2.3 und AF\_2.4 steigt der Mitfahrer-Anteil um 1,4 % an, der ÖV-Anteil um 2,2 %, der Radanteil um rund 0,4 % und der Fußgänger-Anteil um 0,2 %

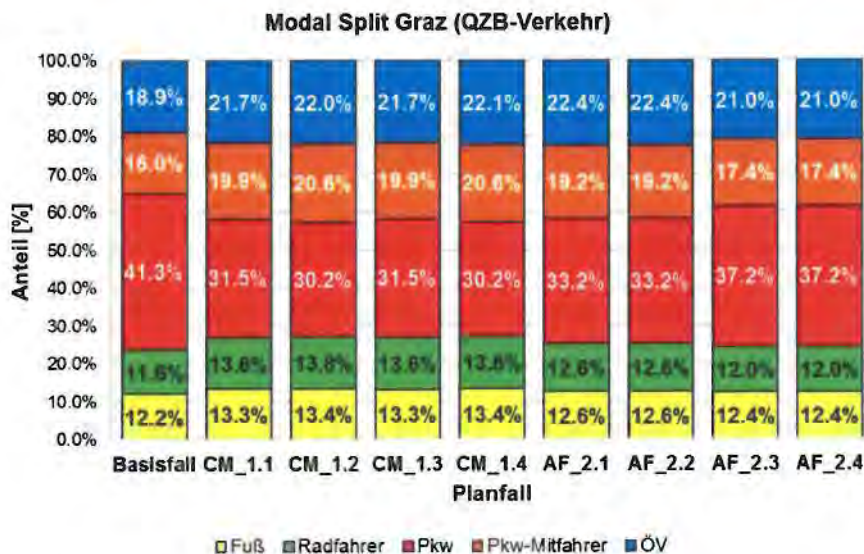


Abbildung 13: Modal Split Quell-/Ziel- und Binnenverkehr im Grazer Stadtgebiet

### Modal Split Binnenverkehr im kleinen Maßnahmensgebiet

Der PKW-Anteil des Binnenverkehrs im kleinen Maßnahmensgebiet beläuft sich in der Basisversion auf 33,9 %. Bei Berücksichtigung einer Gebühr von 3 € (CM\_1.1) sinkt der Anteil um 8,8 % auf 25,1 % und bei 8 € (CM\_1.2) um 10 % auf 23,9 %. Die stärksten Zunahmen im Modal Split Anteil verzeichnen abermals die PKW-Mitfahrer, gefolgt vom ÖV, vom Rad- und anschließend vom Fuß-Verkehr. Im kleinen Maßnahmensgebiet des autofreien Tages (AF\_2.1) sinkt der PKW-Anteil nicht so stark wie bei der Citymaut auf 27,3 %. Der PKW-Anteil ist bei dem Planfall AF\_2.1 um 3,6% niedriger als in der zusätzlichen Version AF\_2.3. Damit sinken auch die Anteile der anderen Modi, insbesondere des ÖV und der Mitfahrer.

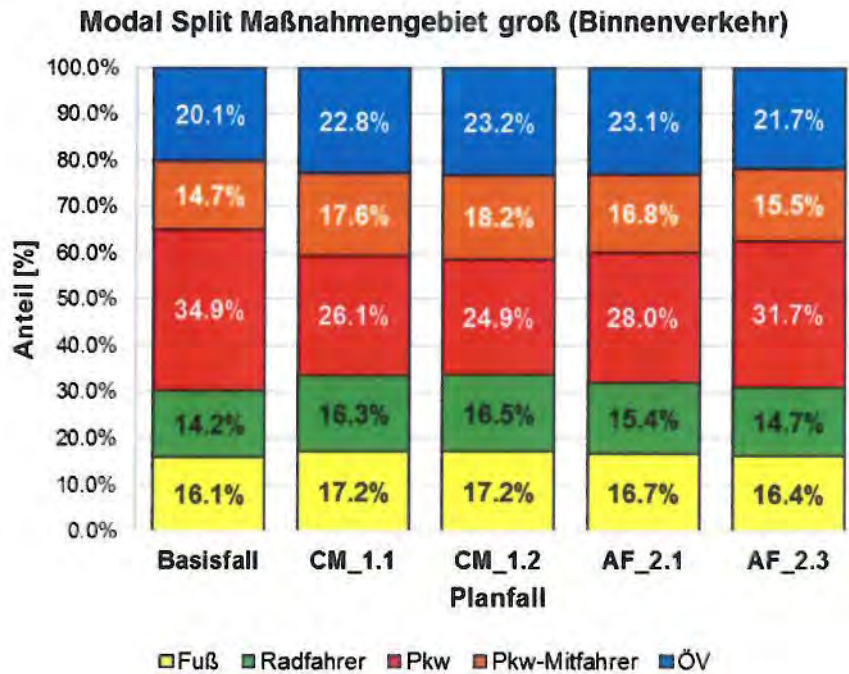


Abbildung 15: Modal Split Binnenverkehr im großem Maßnahmenggebiet

#### Modal Split Quell-/Ziel- und Binnenverkehr im kleinen Maßnahmenggebiet

Im Vergleich zum Basisfall nimmt der PKW-Anteil im Citymaut Planfall CM\_1.1 um 10,4 % ab. Der CM\_1.2 mit den höheren Gebühren von 8 € nimmt stärker um 11,7 % ab. Im autofreien Tag Planfall AF\_2.1 nimmt der PKW-Anteil um 8,6 % ab. Die höchsten Zuwächse am Modal Split Anteil verzeichnen jeweils die PKW-Mitfahrer, gefolgt vom ÖV, dem Rad- und Fußgänger-Verkehr. Der PKW-Anteil ist im Planfall AF\_2.1 um 4% niedriger als in der Version AF\_2.3.



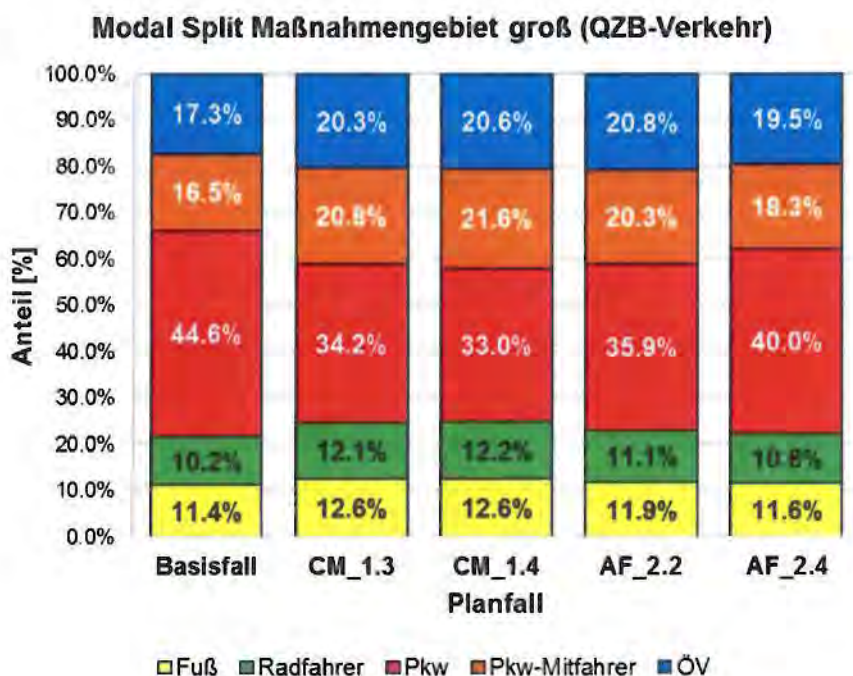


Abbildung 17: Modal Split Quell-/Ziel- und Binnenverkehr im großen Maßnahmenggebiet

#### Modal Split Binnenverkehr im gesamten Untersuchungsgebiet

Der PKW-Anteil am Modal Split steigt in der Basisversion auf 42 % an. Deutliche Reduktionen erkennt man am ÖV-Anteil, wo nur mehr 14 % zu verzeichnen sind, was auf das nicht so dichte Verkehrsangebots des ÖV in peripheren Gebieten zurückzuführen ist. Der Fußgängeranteil ist mit 17,3 % relativ hoch, liegt jedoch in der Hauptdiagonale der Fußgängermatrix, da die Verkehrszellen in diesen Gebieten relativ groß sind. Innerhalb der einzelnen Zellen wird demnach aus modelltechnischen Gründen der Fußgängerverkehr leicht überschätzt. Im Kontrast dazu wird der Radverkehr in den größeren Zellen im Untersuchungsgebiet tendenziell leicht unterschätzt.

In den CM\_1.1 und CM\_1.3 unterscheiden sich wiederum die Modal Split-Anteile nur marginal ob der unterschiedlichen Größe des Maßnahmengbietes. Der PKW-Anteil sinkt im Vergleich zum Basisfall um rund 8,9 %, der Mitfahrer-Anteil steigt stark jeweils um 3,3 % an, der ÖV immerhin um 2 %, der Radverkehr um 1,6 % und der Fußgängerverkehr um 1,9 %. Durch das nicht so dichte ÖV-Angebot im Untersuchungsgebiet gegenüber dem Grazer Stadtgebiet, steigt der Mitfahrer-Anteil stärker an als der ÖV-Anteil. Tendenzuell werden die Fußgängeranteile auch hier durch die großen Verkehrszellen überschätzt, da der Fußgängerverkehr hauptsächlich in der Hauptdiagonale der Fußgängermatrix liegt.

Die Citymaut einer Gebühr in der Höhe von 8 € in CM\_1.2 und CM\_1.4 wirkt wie gewohnt etwas stärker. Im gesamten Untersuchungsgebiet macht dies jedoch nur einen Unterschied von 1 % des Modal Split Anteils von PKW-Fahrten im Vergleich zu den Planfällen CM\_1.1 und CM\_1.3 aus. Die 1 % Unterschied verlagern sich hauptsächlich auf den PKW-Mitfahrer-Anteil und den ÖV.

der autofreie Tag, wobei die Variante mit der höheren Gebühr 1,3 % mehr Modal Split Reduktion des PKW-Anteils bewirkt als die Variante mit der niedrigeren Gebühr.

- Bei den **Quell-, Ziel und Binnenverkehren** des kleinen und großen Maßnahmensgebietes liegt der Modal Split des Basisfalls bei rund 44,5 %. Die geringste Abnahme am Modal Split des PKW-Anteils weisen hier die Planfälle des autofreien Tages auf. Am höchsten ist die Reduktion des PKW-Anteils bei Citymautplanfällen mit den höheren Nutzungsgebühren, CM\_1.2 und CM\_1.4, die im Vergleich zum Basisfall rund 11,7 % beträgt.
- Für das gesamte **Untersuchungsgebiet** nimmt der PKW-Anteil in den Planfällen des autofreien Tages, AF\_2.3 und AF\_2.4, mit rund 3,5 % Reduktion am wenigsten ab, gefolgt von den Planfällen AF\_2.3 und AF\_2.4 mit rund 7%, CM\_1.1 und CM\_1.3 mit 8,9 % und den Planfällen CM\_1.2 und CM\_1.4 mit rund 9,8 %. Der Fußgängerverkehr wird im Basisfall und auch bei den einzelnen Planfällen im Untersuchungsgebiet leicht überschätzt.

#### 4.1.3.2 Verkehrsleistung in Fahrzeugkilometer

In nachstehender Tabelle 8 wird die Verkehrsleistung in Fahrzeugkilometer des PKW-Verkehrs im Basisfall mit jenen der acht berechneten Planfälle verglichen. Im Basisfall werden rund 4,3 Mio. Fahrzeugkilometer innerhalb des Grazer Stadtgebietes an einem Werktag zurückgelegt. Diese Fahrleistung reduziert sich in den Planfällen der Citymaut um 20,7 % bis 24,4 %, wobei der CM\_1.1 die geringste Reduktion und der CM\_1.4 die höchste Reduktion aufweist. Im Kontrast dazu reduzieren sich die Fahrzeugkilometer beim autofreien Tag in den Planfällen AF\_2.1 und AF\_2.2 lediglich um 16,8 % bzw. 16,9 %. Betrachtet man das gesamte Maßnahmensgebiet so zeigt sich eine ähnliche relative Einsparung an Fahrzeugkilometer wie zuvor in Graz beschrieben. Für das gesamte Untersuchungsgebiet inklusive des Maßnahmensgebiets zeigt sich, dass die Citymaut auch im übrigen Untersuchungsgebiet einen beträchtlichen Einfluss auf die Fahrzeugkilometer besitzt, wohingegen die Planfälle des autofreien Tages im restlichen Untersuchungsgebiet nicht so starke Abnahmen der Fahrzeugkilometer zeigen. Ausgehend von rund 16,3 Mio. Fahrzeugkilometern im gesamten Untersuchungsgebiet inklusive des Maßnahmensgebiets im Basisfall, reduzieren sich die Fahrzeugkilometer in den Planfällen AF\_2.1 und AF\_2.2 nur noch um 12,9 %. Im Vergleich dazu ist die Reduktion in den Citymautplanfällen CM\_1.1 und CM\_1.3 mit rund 19,6 % noch immer sehr hoch und bei den Planfällen CM\_1.2 und CM\_1.4 erwartungsgemäß noch höher (rund -23 %).

Analog zu den Veränderungen des Modalsplit nehmen auch die Fahrzeugkilometer in den Planfällen des autofreien Tages AF\_2.3 und AF\_2.4 nicht so stark ab wie in den bereits analysierten von AF\_2.1 und AF\_2.2. Während im Maßnahmensgebiet über 15% der Fahrzeugkilometer im Vergleich zum Basisfall bei AF\_2.1 und AF\_2.2 eingespart werden konnte, so sind es für AF\_2.3 und AF\_2.4 rund 10% Reduktion. Im gesamten Untersuchungsgebiet waren es vormals in AF\_2.1 und AF\_2.2 an die 13% Reduktion und nunmehr für AF\_2.3 und AF\_2.4 rund 9,2%.



andere Tage zu verschieben, womit eine minimal erreichbare Reduktion des PKW-Verkehrs abgebildet werden kann. Somit wird eine Schwankungsbreite der Ergebnisse des autofreien Tages als Ergebnis präsentiert. Wie hoch der Anteil an zeitlich verschiebbaren Fahrten in den Segmenten Einkaufen und Freizeit wirklich ist, bestimmt die Einsparungen innerhalb der Schwankungsbreiten zwischen AF\_2.1 und AF\_2.3 sowie zwischen AF\_2.2 und AF\_2.4. Die meisten Einkaufswege müssten zeitlich verschiebbar sein und müssen nicht zwangsweise am autofreien Tag vollzogen werden. Bei den Freizeitfahrten hingegen sind auch Freizeitaktivitäten (Kultur, Verein, etc.) inkludiert, welche zeitlich keine Verschiebung auf einen anderen Wochentag zulassen. Schätzungsweise können demnach 2/3 der Fahrten zeitlich verschoben werden und 1/3 der Fahrten muss am autofreien Tag realisiert werden. Das bedeutet, dass die gezeigten Ergebnisse des autofreien Tages tendenziell näher an den Ergebnissen von Planfall AF\_2.3 und AF\_2.4 liegen werden.

#### 4.1.3.3 Quellverkehrsanalysen

Hier werden nicht mehr alle Planfälle analysiert, sondern nur noch der Citymaut-Planfall CM\_1.4 und der autofreie Tag Planfall AF\_2.2, da die Aussagen hinsichtlich Veränderungen der Quellverkehre bei der Maßnahme einer Citymaut bzw. eines autofreien Tages bei den übrigen Planfällen keine großen Unterscheidungen aufweisen.

##### Citymaut-Planfall CM\_1.4

Betrachtet man nun die erzeugten Quellverkehre der PKW-Fahrten innerhalb der einzelnen Verkehrszellen im Untersuchungsgebiet des Basisfalls und des Citymaut-Planfalls CM\_1.4 und stellt die Veränderungen in einer Differenzdarstellung gegenüber, so erkennt man eine erwartungsgemäß starke Abnahme (dunkleres Blau) im Maßnahmengebiet. Ebenfalls starke Abnahmen des PKW-Quellverkehrs ist im Untersuchungsgebiet entlang der Schienenachsen zu erkennen. Dies erscheint logisch, da durch das gute ÖV-Verkehrsangebot der Modalshift zu Verkehrsmittel des ÖVs leicht zu realisieren ist. Nur vollständig im Untersuchungsgebiet liegende Kanten der Schieneninfrastruktur sind in der Abbildung ersichtlich und auch Bezirke in der Nähe der Kanten haben über die Zellanbindungen (entspricht der Modellierung von P&R im Guard-Modell) einen Zugang zu den Haltestellen der Eisenbahnen. Verkehrszellen die keine gute Erreichbarkeit des ÖVs vorweisen können, verzeichnen geringere Abnahmen der erzeugten PKW-Fahrten.

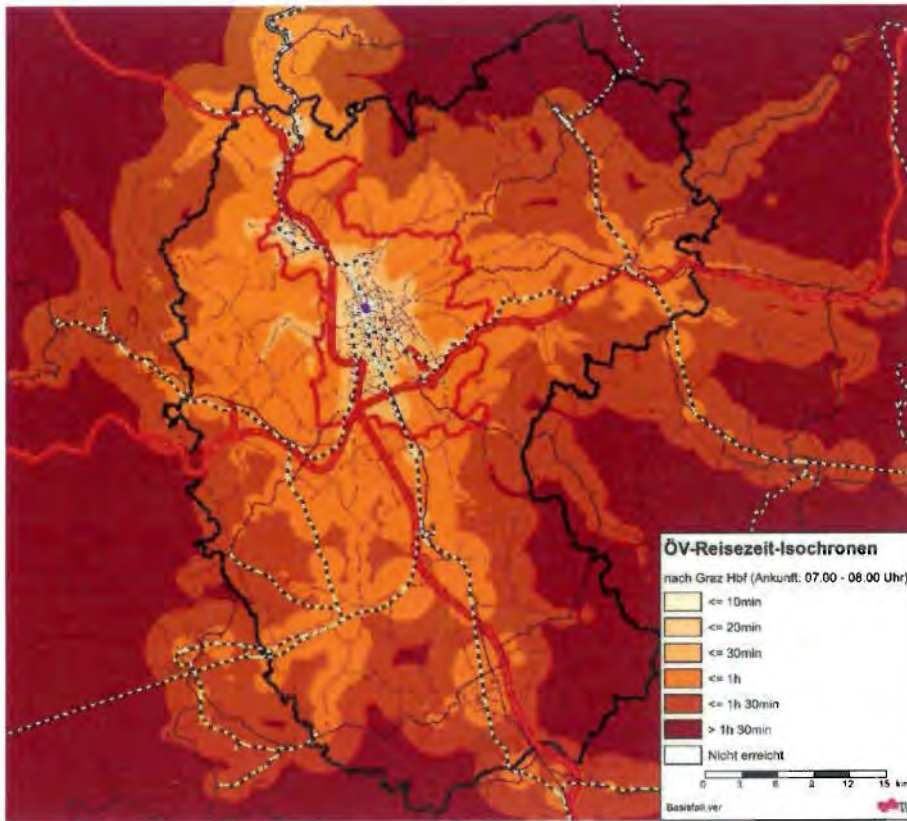


Abbildung 20: ÖV-Reisezeit Isochronen mit Ziel Hauptbahnhof Graz zwischen 7-8Uhr

Die Ergebnisse korrelieren zudem sehr gut mit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen angestellten ÖV-Erreichbarkeitsanalysen (Latic, 2017). Dabei wurde das Bewertungsverfahren der ÖROK zur Güteklassenbestimmung (ÖROK, 2017) für die südliche Steiermark angewendet. Einerseits dient dieses System der besseren Abstimmung der Siedlungsentwicklung und ÖV-Erschließung, andererseits dient es auch der Ermittlung von unausgeschöpften ÖV-Nachfragepotenzialen. Wie in nachstehender Abbildung ersichtlich decken sich die Güteklassen nach ÖROK klassifiziert mit derer ÖV-Erschließung sehr gut mit den potentiellen Abnahmen des PKW-Verkehrs aufgrund des guten ÖV-Angebots.



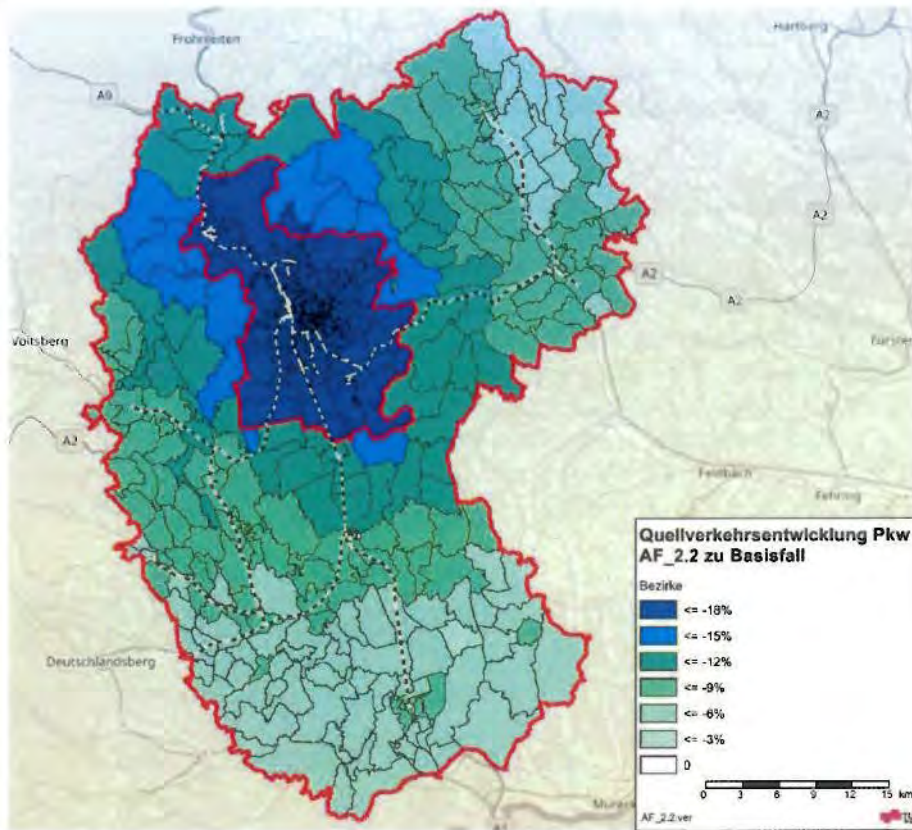


Abbildung 22: Quellverkehrsdifferenz zwischen dem Basisfall und dem Planfall AF\_2.2

Zusammenfassend kann man konstatieren, dass die Planfälle der Citymaut einen höheren Einfluss auf die Quellverkehrserzeugung des PKWs in vom Maßnahmengebiet weiter entfernten Regionen aufweist, als im Vergleich dazu die Planfälle des autofreien Tages.

dort nur die Modal Split Veränderungen der Wohnbevölkerung gegenübergestellt wurden.

Die absoluten Zahlen sinken erwartungsgemäß aus allen Richtungen. Die höchste Abnahme von 14,3% kommt aus dem Korridor Weiz. Hier ist auch der Modalshift hin zu mehr ÖV-Fahrten mit einer Zunahme um 7% am höchsten. Die geringste Abnahme der absoluten Anzahl der Zielverkehre (-9,9%) und auch eine mit 4% relativ kleine Veränderung im Bi-modalen Split ist aus dem Korridor Bruck zu bemerken. Hierfür sind zwei Gründe anzuführen. Die Stadt Bruck an der Mur und auch Leoben die diesem Korridor zugeordnet sind, befinden sich nicht mehr im Verkehrsmodell. Das bedeutet, dass die Fahrtenanzahl von dort nicht durch die Maßnahmen im Planungsgebiet verändert werden, sondern konstant bleiben. Dies betrifft insbesondere die Zugverbindungen von Bruck zum Hauptbahnhof Graz. Zudem liegen der Korridor an der A9 bzw. an der S35 und verfügt damit über leistungsfähige Verbindungen für den MIV. Da die Reisezeiten hier kurz sind und die Reisegeschwindigkeiten hoch sind, ist der Einfluss des zusätzlichen Widerstands einer Citymaut nicht so signifikant.

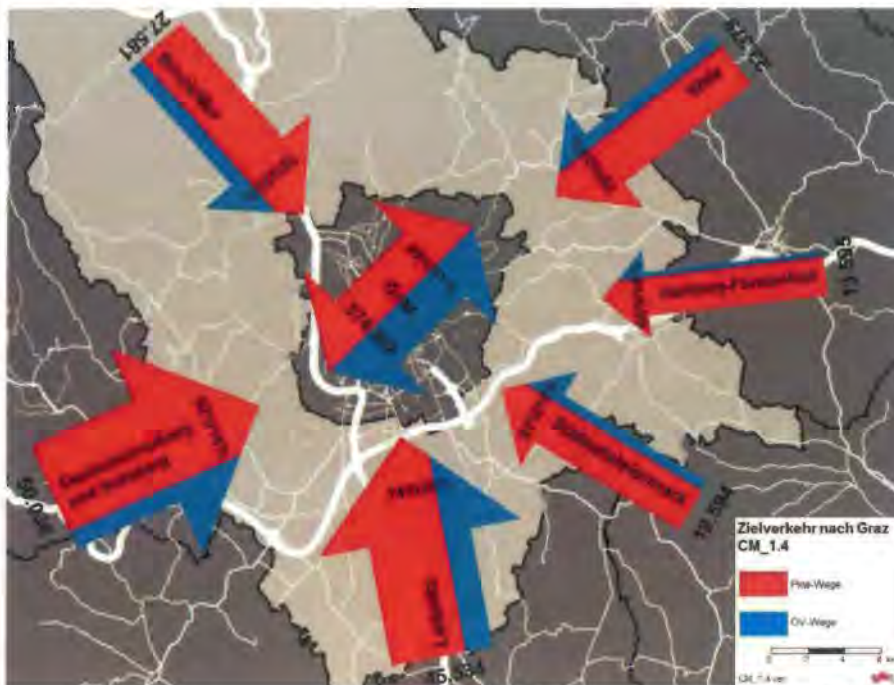


Abbildung 24: Bi-modale Zielverkehre in und nach Graz im Citymaut Planfall CM\_1.4

### Autofreier Tag Planfall AF\_2.2

Nachstehende Abbildung zeigt die Bi-modalen Zielverkehre für den Planfall AF\_2.2 des autofreien Tages. Der Binnenverkehr in Graz nimmt im Planfall AF\_2.2 mit 6% weniger Fahrten nicht mehr so stark gegenüber dem Basisfall ab als der zuvor gezeigte Planfall der Citymaut. Grund hierfür ist der Umstand, dass in der Methodik des autofreien Tages die Zielwahl gegenüber dem Basisfall konstant gehalten wird, somit ergibt sich die Reduktion nicht durch Zielwahlveränderungen, sondern ausschließlich durch Verlagerungen auf die Modi der Mitfahrer, Radfahrer und Fußgänger.



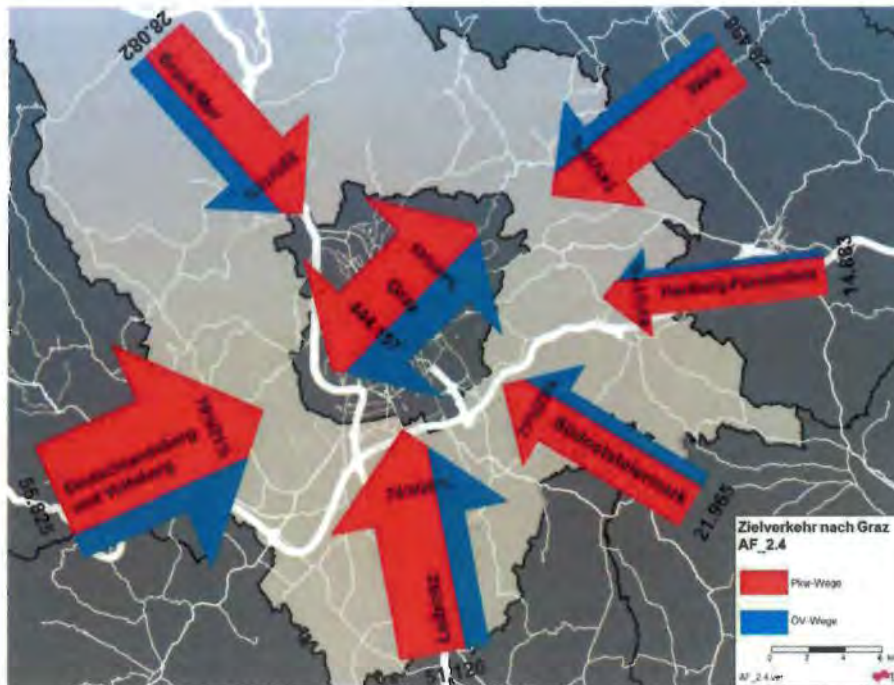


Abbildung 26: Bi-modale Zielverkehre in und nach Graz im autofreien Tag Planfall AF\_2.4

#### 4.1.3.5 Verkehrliche Auswirkungen auf das Straßennetz

Abbildung 27 zeigt die Differenzen der PKW-Streckenbelastungen zwischen dem Basisfall und dem Citymaut-Planfall CM\_1.4 (links) sowie dem Planfall AF\_2.2 zum autofreien Tag (rechts). Beide Planfälle verzeichnen Abnahmen der Streckenbelastungen im Vergleich zum Basisfall, wobei die Abnahmen sich speziell auf die stark belasteten Streckenzüge konzentrieren. Man erkennt durch die Balkenstärke eine höhere Abnahme der Verkehrsbelastungen in der Citymautversion auf der linken Seite.

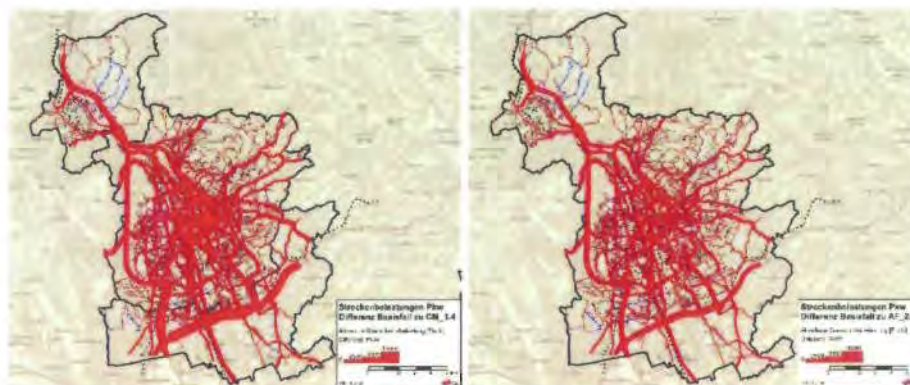


Abbildung 27: links: Differenz der PKW Streckenbelastungen zwischen Basisfall und Planfall CM\_1.4 im Maßnahmensgebiet; rechts: Differenz der PKW Streckenbelastungen zwischen Basisfall und Planfall AF\_2.2 im Maßnahmensgebiet



<b>AF_2.1</b>	-15.4%	-17.3%
<b>AF_2.2</b>	-15.5%	-17.2%
<b>AF_2.3</b>	-10.2%	-10.6%
<b>AF_2.4</b>	-10.3%	-10.6%

In (Leihns, Siegl, & Hartmann, 2014) werden bestehende Systeme für Zufahrtsbeschränkungen, Umweltzonen und Citymaut aufgegriffen und analysiert. Dabei zeigen die Verkehrsbelastungen im Durchschnitt in der Testphase der Citymaut in Stockholm eine Reduktion von 22 % des DTVw-Wertes (Durchschnittlicher Täglicher Verkehr an Werktagen). Auch in Göteborg konnte eine Verkehrsreduktion von 20 % beobachtet werden, wobei sich diese Reduktion nach einer gewissen Zeitperiode auf nur noch 11 % einpendelte. Londons Citymaut wird gemeinsam mit Stockholm meist als Vorzeigebeispiel vorgestellt. Auch hier ließen sich an die 16 % des DTVw-Wertes reduzieren. Jeweils ein Jahr nach der Einführung einer Citymaut in Mailand konnte eine Reduktion von 14,4 % des DTVw-Wertes festgestellt werden, wobei nicht alle Fahrzeugtypen in dem Eco-pass-System zahlungspflichtig waren. Dies änderte sich mit der Einführung der Mailänder Area C, womit eine beachtliche Reduktion von 31,1 % des DTVw-Wertes erzielt werden konnte. Die Zufahrtsbeschränkung in Bologna resultierte in einer 24 %-Abnahme des DTVw-Wertes. Diese Vergleichswerte dürfen jedoch nicht eins zu eins mit den DTVw-Reduktionen dieser Studie verglichen werden, da raum- und stadtstrukturelle Unterschiede zu beachten sind.

#### 4.1.3.6 Auswirkungen auf den öffentlichen Personennahverkehr

Die zuvor gezeigten Modal Split Ergebnisse zeigen in allen Planfällen einen Anstieg der Fahrten im öffentlichen Verkehr. Werden diese Quelle-Ziel-Beziehungen im Verkehrsmodell auf das Straßennetz umgelegt, erhält man Linienbeförderungen (= Fahrgastzahlen) für alle ÖV-Linien.

Tabelle 10 zeigt die Veränderung der Linienbeförderungen für die Planfälle CM\_1.4 und AF\_2.4 gegenüber dem Basisfall. Man erkennt, dass der Anstieg im Planfall des autofreien Tages höher ist als jener bei der Citymaut.

Tabelle 10: Vergleich Linienbeförderungen

	<b>Basisfall</b>	<b>CM_1.4</b>	<b>AF_2.4</b>
Linienbeförderungen	392.285	+8%	+16%

Dies begründet sich durch die gewählte Methodik in diesen Planfällen. Beim autofreien Tag darf ein Teil der Bevölkerung für Wege nach Graz nicht den Pkw verwenden. Durch die Beibehaltung der Zielwahl, sind diese gezwungen auf ein anderes Verkehrsmittel umzusteigen. Dieser Umstieg betrifft nicht nur den Teilabschnitt des Weges der ins Maßnahmengbiet führt, sondern jeden Teilabschnitt. Somit werden in nicht vom Fahrverbot betroffenen Gebieten beispielsweise bereits Zubringerbusse verwendet um zu S-Bahnen zu gelangen. Dies zeigt der Unterschied der mittleren Reisezeit der öffentlichen Verkehrsmittel, welcher 13% zwischen CM\_1.4 (~36 Minuten) und AF\_2.4 (~42 Minuten) beträgt. Analog dazu pendelt sich die mittlere Fahrtweite in CM\_1.4 auf 9,5 km ein und bei AF\_2.4 auf 11,8 km. In der Realität würden diese Personen ihren Pkw nutzen um zu einem Park&Ride Platz an einer S-Bahn Haltestelle zu gelangen.



Ein weiterer Grund für den höheren Anstieg der Linienbeförderungen in den Planfällen des Autofreien Tags ist der durch die Kosten der Citymaut hervorgerufene Verdrängungseffekt von Fahrten. Im gesamten Untersuchungsgebiet werden deshalb um 6,4 % weniger Fahrten angetreten. Dies spiegelt sich auch in den Linienbeförderungen wieder.

Tabelle 11 zeigt den Anstieg der Linienbeförderungen getrennt für Straßenbahnen und Busse im Stadtgebiet von Graz für die Planfälle CM\_1.4 und AF\_2.4 im Vergleich zum Basisfall an einem Werktag, sowie in der Morgenspitze von 06:00 bis 09:00 Uhr.

Dieser Anstieg der Linienbeförderungen ist am gesamten Werktag in den Planfällen annähernd gleich hoch. In der Morgenspitze steigen die Beförderungszahlen beim autofreien Tag jedoch deutlich stärker an, als bei der Citymaut. Diese stärkere Ausprägung der Morgenspitze beim autofreien Tag erklärt sich durch die nicht zur Verfügung stehende Wahlmöglichkeit des PKW bei gleichzeitig festgehaltener Zielwahl von Arbeits- und Ausbildungsfahrten. Der höhere Anstieg der Stadtbusse in AF\_2.4 erklärt sich durch deren Linienführung. Zahlreiche Stadtbusse bedienen Tangentialverbindungen. Durch die zwanghafte Nutzung des ÖV im autofreien Tag müssen diese Verbindungen nun mit Stadtbussen absolviert werden.

Linienbeförderungen Werktag			
ÖV-System	Basisfall	CM_1.4	AF_2.4
Straßenbahn	161.125	+9%	+9%
Stadtbusse Graz	145.273	+8%	+12%

Linienbeförderungen 06:00 – 09:00 Uhr			
ÖV-System	Basisfall	CM_1.4	AF_2.4
Straßenbahn	39.232	+13%	+26%
Stadtbusse Graz	35.372	+11%	+30%

Tabelle 11: Vergleich Linienbeförderungen Werktag zu Morgenspitze

In den Spitzenstunden sind die Kapazitäten des öffentlichen Verkehrs in Graz bereits an der Auslastungsgrenze. Deshalb ist es bei der Einführung von einer der untersuchten Maßnahmen notwendig das Verkehrsangebot zielgerichtet zu erweitern, um den Anstieg an Fahrgästen zu bewältigen und die Servicequalität zu wahren. Kapazitätserhöhungen sind durch Taktverdichtungen und längere Fahrzeuge möglich. Wo notwendig sind auch etwaige neu einzuführende ÖV-Linien als Angebotserweiterung zu untersuchen.

- Mit:
- $E_{ges}$  ..... Gesamte Emissionen der Komponente „j“ (z.B.  $NO_x$ ) im betrachteten Zeitraum
  - $E_{si,j}$  ..... Emissionsfaktor der Schicht „si“ für die Komponente „j“
  - $Pe_{si,k}$  ..... Effektive Motorleistung der Schicht „si“ auf dem Streckenabschnitt „k“. Die Motorleistung wird über die Gleichungen der Kfz-Längsdynamik berechnet (Leistung zur Überwindung von: Roll-, Luft-, Steigungswiderstand, Bremsverlusten, Verlusten im Antriebsstrang und Leistungsbedarf der Nebenaggregate)
  - $F_j(Pe_{si})$  ..... Funktionen der spezifischen Emissionen in [g/kWh] über der aktuellen Motorleistung für eine Schicht „si“ für die Komponente „j“; hier aus den HBEFA 3.3 Basisdaten berechnet.

Für die Berechnung sind also die Fahrleistungsanteile der einzelnen Fahrzeugschichten erforderlich. Da aus dem Verkehrsmodell (vgl. Kapitel 4.1 Verkehrsmodellierung) die Fahrleistungen lediglich getrennt nach PKW und Nutzfahrzeugen zur Verfügung steht, werden die Anteile der Kfz-Schichten von NEMO berechnet.

Die Berechnung erfolgt in Abhängigkeit von Bezugsjahr und Straßenkategorie nach folgenden Schema:

- (1) Hochrechnung des Kfz-Bestandes nach dem Jahrgang der Erstzulassung, Motortyp und sonstigen Unterscheidungsmerkmalen (Hubraum oder zulässiges Gesamtgewicht) aus der Bestandsstruktur des Vorjahres mittels alters- und fahrzeuggößenabhängigen Ausfallwahrscheinlichkeiten.
- (2) Abschätzung der spezifischen Jahresfahrleistungen der Kfz nach Zulassungsjahrgängen und sonstigen Unterscheidungsmerkmalen mittels alters- und hubraum- bzw. masseabhängigen Fahrleistungsfunktionen.
- (3) Multiplikation von Bestand x spezifischen Jahresfahrleistungen und Summierung über die jeweiligen Zulassungsjahrgänge je Emissionsklasse.

Für sämtliche Fahrzeugschichten werden von NEMO-Road, für die auf den einzelnen Streckenabschnitten gegebenen Fahrzustände, die entsprechenden Emissionsfaktoren nach Glg. 2 simuliert. Grundlage ist dabei die Ermittlung der zyklusdurchschnittlichen normierten Motorleistung aus Fahrzeugdaten sowie aus Parametern die den „durchschnittlichen“ Fahrzustand auf dem Streckenabschnitt beschreiben. Diese Parameter sind Fahrbahnlängsneigung, Durchschnittsgeschwindigkeit, Stillstandsanteil sowie die durchschnittliche Bremsverzögerung. Die Einteilung des Straßennetzwerkes in Streckenabschnitte erfolgt dabei vom Verkehrsmodell so fein, dass innerhalb eines Streckenabschnitts homogene Verhältnisse für die wesentlichen Randbedingungen (Längsneigung, Geschwindigkeit, Verkehrsmengen) herrschen.

Die Parametrierung des spezifischen Emissions- und Verbrauchsverhaltens der verschiedenen Antriebskonzepte erfolgte mit Hilfe des ebenfalls am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik entwickelten Modells PHEM (Passenger car and Heavy duty vehicle Emission Model<sup>2</sup>).

<sup>2</sup> PHEM dient zur detaillierten Simulation von Energieverbrauch und Emissionen von Kfz, z.B. [6] bis [8]). Mit PHEM werden auch die Emissionsfaktoren für das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) berechnet.



dem Berechnungsjahr 2020 wird zusätzlich zu den getroffenen Maßnahmen auch die Flottenerneuerung mitberücksichtigt. Damit soll geprüft werden, ob die NO<sub>2</sub>-Luftgütegrenzwerte bis 2020 erreichbar wären.

Wie zuvor beschrieben, wurde NEMO so konfiguriert, dass je Szenario nur mehr die Ergebnisse aus dem Verkehrsmodell eingelesen werden mussten. Folgende Daten werden vom Verkehrsmodell an NEMO übergeben:

- Alle Streckendaten von Graz und Umgebung
- DTV auf der jeweiligen Strecke
- Schwerverkehrs- und ÖV Verkehrsanteil auf der jeweiligen Strecke
- Geschwindigkeiten nach Fahrzeugkategorie (PKW, schweres Nutzfahrzeug und Bus)

Mit den in NEMO simulierten Fahrleistungsanteilen je Kfz-Schicht wurden die Verkehrsdaten aus dem Verkehrsmodell weiter untergliedert, um die Fahrleistungen je Schicht zu berechnen:

- Unterteilung des Schwerverkehrs in die Fahrzeugkategorien Solo-LKW, Last- und Sattelzug nach österreichischem Durchschnitt je Streckenkategorie (z.B. höhere Anteile der Sattelzüge auf Autobahnstrecken)
- Unterteilung des öffentlichen Verkehrs in die Fahrzeugkategorien Linien- und Reisebus nach österreichischem Durchschnitt
- Unterteilung jeder Fahrzeugkategorie in die einzelnen EURO Abgas-klassen nach österreichischen Fahrleistungsanteilen
- Zweiräder werden nicht berücksichtigt da keine Daten aus dem Verkehrsmodell vorhanden sind

Es wurde ein ebenes Streckennetz simuliert, da keine Geländehöhen vorhanden sind. Der Einfluss der Fahrbahnsteigungen ist für die absoluten Emissionen relevant, für den relativen Vergleich der Szenarien aber nicht wesentlich.

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 14 bis Tabelle 20 für die Emissionen CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> exhaust<sup>3</sup>, die gefahrenen Kilometer und die Durchschnittsgeschwindigkeit dargestellt.

Innerhalb der Ergebnistabellen werden folgende Abkürzungen genutzt:

Tabelle 12: Abkürzungen Fahrzeugnamen

Fahrzeug	Beschreibung
PKW	Personen Kraftwagen (PKW)
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug (LNF)
Solo LKW	Solo LKW
LSZ	Last- und Sattelzug
RB	Reisebus
LB	Linienbus

<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> exhaust sind die Abgas-Partikelemissionen. PM<sub>10</sub> Non-Exhaust fasst die Partikelemissionen aus Abrieb und Aufwirbelung zusammen.

zum autofreien Tag. Innerhalb des jeweiligen Maßnahmensgebietes fallen die Reduktionen etwas höher aus, während sie außerhalb des Maßnahmensgebietes erwartungsgemäß niedriger liegen. Es zeigt sich, dass die Einführung eines höheren Citymaut Betrags höhere Reduktionen ergibt, wohingegen die Größe des Maßnahmensgebietes weniger Einfluss besitzt.

**Die Szenarien zur Citymaut bewirken mit ca. -22% im Maßnahmensgebiet etwa die doppelte Verkehrsminderung wie die tagweisen Fahrverbote.**

Die Ergebnisse für das Untersuchungsjahr 2020 sind nicht dargestellt, da sich bei der Fahrleistung keine Unterschiede ergeben.

Tabelle 14: Änderung Fahrleistungen in den Szenarien gegenüber Basisfall

Fahrzeug	Gebiet	Abweichung der Fahrleistung zur Basis								
		Base	CM_1.1	CM_1.2	CM_1.3	CM_1.4	AF_2.1	AF_2.2	AF_2.3	AF_2.4
		[Mio. km]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
PKW	Gesamt	4854	-21.4%	-24.9%	-21.6%	-24.9%	-14.0%	-14.2%	-10.1%	-10.1%
	Plan-G	1554	-22.3%	-25.5%	-21.9%	-25.1%	-17.9%	-17.6%	-11.3%	-11.1%
	Umg-G	3300	-21.0%	-24.7%	-21.4%	-24.8%	-12.4%	-12.6%	-9.6%	-9.7%
LNF	Gesamt	521	-21.3%	-24.9%	-21.5%	-24.9%	-14.0%	-14.2%	-10.1%	-10.1%
	Plan-G	172	-22.4%	-25.5%	-22.0%	-25.2%	-17.9%	-17.7%	-11.3%	-11.1%
	Umg-G	349	-20.9%	-24.7%	-21.3%	-24.8%	-12.4%	-12.5%	-9.5%	-9.7%
Solo-Lkw	Gesamt	229	-0.4%	-0.7%	-0.4%	-0.7%	-0.5%	-0.5%	-0.3%	-0.3%
	Plan-G	78	0.0%	0.1%	-0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	-0.1%	-0.1%
	Umg-G	152	-0.6%	-1.1%	-0.6%	-1.1%	-0.8%	-0.8%	-0.4%	-0.5%
LSZ	Gesamt	253	0.7%	0.9%	0.7%	0.9%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%
	Plan-G	46	0.9%	0.8%	1.2%	1.2%	0.7%	1.2%	1.0%	1.2%
	Umg-G	207	0.6%	0.9%	0.5%	0.8%	0.6%	0.5%	0.5%	0.5%
RB	Gesamt	1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Plan-G	0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Umg-G	1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
LB	Gesamt	24	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Plan-G	15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Umg-G	9	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Gesamt	Gesamt	5883	-19.5%	-22.8%	-19.7%	-22.8%	-12.8%	-13.0%	-9.2%	-9.3%
	Plan-G	1866	-20.8%	-23.7%	-20.2%	-23.2%	-16.6%	-16.3%	-10.5%	-10.2%
	Umg-G	4017	-19.0%	-22.4%	-19.4%	-22.5%	-11.2%	-11.4%	-8.7%	-8.8%

#### 4.2.3.2 Durchschnittsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeitserhöhungen ergeben sich im Verkehrsmodell direkt durch die geringere Anzahl an Fahrzeugen im Netz und dem damit besseren Verkehrsfluss. PKW und LNF erfahren dabei die größten Geschwindigkeitserhöhungen. Der Effekt ist wegen der größeren Fahrleistungsänderungen innerhalb des Maßnahmensgebiets größer als außerhalb.

Die Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit erfolgt auch bei schweren Nutzfahrzeugen und Bussen. Diese fallen allerdings geringer als bei PKW aus,



#### 4.2.3.3 CO<sub>2</sub>

Die CO<sub>2</sub> Emissionen reduzieren sich erwartungsgemäß bei PKW und LNF durch die größeren Reduktionen an gefahrenen Kilometern am stärksten. Des Weiteren ergeben sich zusätzliche Reduktionen durch den besseren Verkehrsfluss, wodurch die Fahrzeuge in einem besseren Motorlastpunkt betrieben werden.

LKW zeigen vorwiegend durch den besseren Verkehrsfluss Reduktionen in allen Szenarien. Die Last- und Sattelzügen zeigen nur geringe Unterschiede zum Basisfall. Dies liegt zum einen an der leichten Zunahme der Fahrleistung (Artefakt aus Fahrverlagerungen auf das Autobahnnetz, siehe Kap 4.2.3.1) und zum anderen daran, dass diese Fahrzeugkategorie größtenteils auf Autobahnstrecken verkehrt und somit nur geringe Geschwindigkeitssteigerungen erfährt.

Bei den Bussen zeigen sich die gleichen Effekte wie bei den anderen Fahrzeugkategorien. Die Szenarien mit höherer Mautgebühr führen zu höheren Reduktionen während die Maßnahmengröße nur einen geringen Einfluss zeigt. Die Reduktionen ergeben sich durch die höheren Fahrgeschwindigkeiten und somit besseren Motorbetriebspunkte. Die Ergebnisse für Busse in Tabelle 16 zeigen die Minderungspotentiale bei gleichbleibender Personenbeförderung. Werden diese, wie in den Maßnahmen angenommen erhöht, ergeben sich Zunahmen der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Busse von ca. 1%. Das Ergebnis im Untersuchungsgebiet über alle Fahrzeugkategorien wird davon kaum merklich beeinflusst.

Im Untersuchungsgebiet über alle Fahrzeugkategorien werden Reduktionen im CO<sub>2</sub> von 18 % bei den Szenarien zur Citymaut 3 € erreicht, während die höheren Mautgebühren von 8 € eine Reduktion von 21 % zur Folge haben. Bei den Szenarien zum autofreien Tag ergeben sich Reduktionen von 9 % (mit Verlagerungseffekten) bis hin zu 13 % (ohne Verlagerungseffekte), wobei die Maßnahmengröße ebenfalls nur einen sehr geringen Einfluss besitzt. Innerhalb des Maßnahmensgebietes werden erwartungsgemäß größere CO<sub>2</sub> Einsparungen erreicht (ca. 5 % höher), während außerhalb des Maßnahmensgebietes die Effekte geringer ausfallen (ca. 2 % geringer).

Die Simulation der Streckennetze mit der Flottenzusammensetzung des Jahres 2020 zeigt geringfügig höhere Emissionsreduktionen, da dort zusätzlich die Flottenerneuerung mit technologisch besseren Fahrzeugen zu einer Abnahme beiträgt. Die Reduktionspotentiale erhöhen sich bei allen Szenarien bis 2020 um ca. 0.7 %.

**Die Szenarien zur Citymaut bewirken im Maßnahmensgebiet mit ca. -24% etwa die doppelte CO<sub>2</sub>-Minderung wie die tagweisen Fahrverbote. Die Verkehrsverflüssigung infolge sinkender Fahrleistungen bewirkt im Vergleich zur Fahrleistungsreduktion höhere CO<sub>2</sub>-Minderungen.**

Bei den Bussen verhalten sich die Reisebusse ähnlich den Last- und Sattelzügen (reiner Autobahnverkehr; durch NEMO modellmäßig vorgegeben) und weisen in allen Szenarien eine geringe Reduktion der  $\text{NO}_x$ -Emissionen als Linienbusse auf. Die Linienbusse weisen aufgrund der höheren Anstiege der Durchschnittsgeschwindigkeiten höhere Reduktionspotentiale als die Reisebusse auf. Die Ergebnisse in Tabelle 17 zeigen die Reduktionspotentiale für Busse bei gleichbleibender Personenbeförderungszahl. Bei einer Erhöhung der Personenbeförderung um ca. 15% durch Verlagerungen von PKW erhöhen sich die  $\text{NO}_x$ -Emissionen der Busse um ca. 0.3%-Punkte, was über alle Kfz-Kategorien wieder ein vernachlässigbarer Effekt wäre (vorausgesetzt es werden keine alten Busse für zusätzliche Fahrten eingesetzt).

Im Untersuchungsgebiet reduzieren sich die  $\text{NO}_x$ -Emissionen bei Einführung einer Mautgebühr von 3 €, um 15 % und bei 8 € um 17 %. Bei den Szenarien zum autofreien Tag ergeben sich  $\text{NO}_x$ -Minderungen von 7 % (mit Verlagerungseffekten) bis zu 10 % (ohne Verlagerungseffekte). Innerhalb des Maßnahmengebietes fallen die Minderungen in allen Szenarien um ca. 4 % höher aus, während sie außerhalb um ca. 2 % geringer ausfallen.

**Die Szenarien zur Citymaut bewirken im Maßnahmengebiet mit ca. -20% etwa die doppelte  $\text{NO}_x$ -Minderung wie die tagweisen Fahrverbote. Die Verkehrsverflüssigung infolge sinkender Fahrleistungen bewirkt im Vergleich zur Fahrleistungsreduktion keine zusätzliche  $\text{NO}_x$ -Minderung. Bei den kommenden Fahrzeuggenerationen (ab 2018) sollte aber auch bei  $\text{NO}_x$  ein positiver Effekt durch Verkehrsverflüssigung entstehen.**



Tabelle 18: Änderung der NO<sub>x</sub> Emissionen in den Szenarien 2020 gegenüber dem Basisfall

Fahrzeug	Gebiet	NO <sub>x</sub> Abweichung zur Basis 2018 (Berechnungsjahr 2020)								
		Base	CM_1.1	CM_1.2	CM_1.3	CM_1.4	AF_2.1	AF_2.2	AF_2.3	AF_2.4
		[t/a]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
PKW	Gesamt	1583.76	-31.8%	-34.6%	-31.9%	-34.6%	-26.0%	-26.2%	-22.3%	-22.3%
	Plan-G	576.40	-36.9%	-39.6%	-36.0%	-38.7%	-32.7%	-32.0%	-26.1%	-25.5%
	Umg-G	1007.36	-29.3%	-32.1%	-29.6%	-32.2%	-22.7%	-22.9%	-20.4%	-20.5%
LNF	Gesamt	289.91	-32.6%	-35.0%	-32.6%	-35.0%	-28.1%	-28.2%	-25.3%	-25.3%
	Plan-G	93.86	-37.8%	-40.0%	-36.9%	-39.4%	-34.4%	-33.6%	-28.8%	-28.3%
	Umg-G	196.04	-30.5%	-33.0%	-30.6%	-32.9%	-25.6%	-25.6%	-23.9%	-23.9%
Solo-Lkw	Gesamt	626.70	-27.0%	-27.6%	-27.0%	-27.6%	-25.9%	-25.9%	-24.8%	-24.8%
	Plan-G	287.83	-25.9%	-26.6%	-25.9%	-26.5%	-24.4%	-24.5%	-22.8%	-23.0%
	Umg-G	338.87	-27.9%	-28.4%	-27.9%	-28.5%	-27.0%	-27.0%	-26.3%	-26.3%
LSZ	Gesamt	296.97	-34.1%	-34.0%	-34.1%	-34.0%	-33.8%	-33.8%	-33.6%	-33.6%
	Plan-G	58.40	-36.3%	-36.7%	-35.2%	-35.4%	-35.8%	-34.8%	-35.1%	-34.4%
	Umg-G	238.57	-33.7%	-33.6%	-33.8%	-33.7%	-33.5%	-33.6%	-33.4%	-33.4%
RB	Gesamt	3.46	-24.2%	-24.3%	-24.2%	-24.3%	-23.8%	-23.8%	-23.7%	-23.7%
	Plan-G	1.02	-25.5%	-25.7%	-25.3%	-25.5%	-24.8%	-24.7%	-24.3%	-24.2%
	Umg-G	2.45	-23.7%	-23.7%	-23.7%	-23.7%	-23.5%	-23.5%	-23.4%	-23.4%
LB	Gesamt	73.99	-27.4%	-27.8%	-27.4%	-27.8%	-26.5%	-26.5%	-25.4%	-25.4%
	Plan-G	51.54	-28.0%	-28.5%	-27.9%	-28.4%	-26.9%	-26.9%	-25.4%	-25.4%
	Umg-G	22.45	-26.1%	-26.3%	-26.2%	-26.4%	-25.6%	-25.6%	-25.2%	-25.2%
Gesamt	Gesamt	<b>2874.79</b>	<b>-31.0%</b>	<b>-32.8%</b>	<b>-31.0%</b>	<b>-32.8%</b>	<b>-27.0%</b>	<b>-27.1%</b>	<b>-24.4%</b>	<b>-24.4%</b>
	Plan-G	<b>1069.05</b>	<b>-33.4%</b>	<b>-35.3%</b>	<b>-32.9%</b>	<b>-34.8%</b>	<b>-30.4%</b>	<b>-30.0%</b>	<b>-25.8%</b>	<b>-25.6%</b>
	Umg-G	<b>1805.75</b>	<b>-29.7%</b>	<b>-31.6%</b>	<b>-29.9%</b>	<b>-31.7%</b>	<b>-25.3%</b>	<b>-25.4%</b>	<b>-23.7%</b>	<b>-23.7%</b>

#### 4.2.3.5 PM<sub>10</sub> exhaust

Auch bei den Abgaspartikeln ergeben sich bei PKW und LNF die größten Reduktionspotentiale. Dabei zeigen die Szenarien zur Citymaut wieder höhere Emissionsminderungen als die Szenarien zum autofreien Tag, wobei die Maßnahmengröße bei allen Szenarien wenig Einfluss besitzt.

Die Verkehrsverflüssigung bewirkt bei den Partikelemissionen geringere spezifische Emissionsniveaus der Kfz, die wieder bei LKW und Stadtbussen ausgeprägter ist als bei Sattelzugfahrzeugen und Reisebussen, da letztere zum größten Teil auf der Autobahn fahren und somit nur geringe Änderungen in den Durchschnittsgeschwindigkeiten erfahren.

Zwischen den Szenarien zur Citymaut und dem autofreien Tag zeigt sich weiterhin der Trend, dass die Citymaut größere Emissionsminderungen zur Folge hat. Die in Tabelle 19 dargestellten Ergebnisse für Busse weisen die Reduktionspotentiale bei gleichbleibender Personenbeförderung aus. Wird die Personenanzahl in den Busse um ca. 15% erhöht, steigen die PM Emissionen der Busse um ca. 0.4%.



Tabelle 20: Änderung der PM<sub>10</sub> Exhaust Emissionen in den Szenarien 2020 gegenüber dem Basisfall

Fahrzeug	Gebiet	PM <sub>10</sub> exhaust Abweichung zur Basis (Berechnungsjahr 2020)								
		Base	CM_1.1	CM_1.2	CM_1.3	CM_1.4	AF_2.1	AF_2.2	AF_2.3	AF_2.4
		[t/a]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
PKW	Gesamt	36.85	-35.7%	-38.4%	-35.8%	-38.4%	-30.0%	-30.2%	-26.0%	-26.1%
	Plan-G	14.49	-39.1%	-41.8%	-38.6%	-41.3%	-35.0%	-34.6%	-28.2%	-28.0%
	Umg-G	22.36	-33.8%	-36.4%	-34.0%	-36.5%	-27.2%	-27.3%	-24.7%	-24.8%
LNF	Gesamt	10.51	-44.9%	-47.2%	-45.0%	-47.2%	-40.1%	-40.2%	-36.9%	-36.9%
	Plan-G	4.05	-47.7%	-49.9%	-47.2%	-49.5%	-44.2%	-43.9%	-38.7%	-38.5%
	Umg-G	6.46	-43.4%	-45.7%	-43.6%	-45.7%	-37.8%	-38.0%	-35.9%	-36.0%
Solo-Lkw	Gesamt	8.88	-31.8%	-32.2%	-31.8%	-32.2%	-31.1%	-31.1%	-30.3%	-30.3%
	Plan-G	3.81	-33.4%	-34.0%	-33.2%	-33.6%	-32.3%	-32.1%	-31.1%	-31.0%
	Umg-G	5.07	-30.7%	-31.1%	-30.7%	-31.1%	-30.2%	-30.3%	-29.8%	-29.8%
LSZ	Gesamt	5.94	-34.1%	-34.1%	-34.2%	-34.1%	-34.0%	-34.0%	-33.8%	-33.8%
	Plan-G	1.16	-35.8%	-36.1%	-34.8%	-35.0%	-35.4%	-34.5%	-34.7%	-34.1%
	Umg-G	4.78	-33.9%	-33.8%	-34.0%	-33.9%	-33.7%	-33.8%	-33.6%	-33.7%
RB	Gesamt	0.07	-26.2%	-26.2%	-26.2%	-26.2%	-26.0%	-26.0%	-25.9%	-25.9%
	Plan-G	0.02	-27.1%	-27.2%	-26.9%	-27.1%	-26.6%	-26.5%	-26.3%	-26.3%
	Umg-G	0.05	-25.9%	-25.9%	-25.9%	-25.9%	-25.8%	-25.8%	-25.7%	-25.7%
LB	Gesamt	1.20	-28.7%	-28.9%	-28.7%	-28.9%	-28.1%	-28.1%	-27.4%	-27.5%
	Plan-G	0.81	-29.4%	-29.7%	-29.4%	-29.7%	-28.7%	-28.7%	-27.9%	-27.8%
	Umg-G	0.39	-27.3%	-27.4%	-27.3%	-27.4%	-26.9%	-26.9%	-26.6%	-26.6%
Gesamt	Gesamt	63.45	-36.4%	-38.4%	-36.5%	-38.4%	-32.2%	-32.3%	-29.2%	-29.2%
	Plan-G	24.34	-39.2%	-41.3%	-38.7%	-40.8%	-35.9%	-35.5%	-30.7%	-30.5%
	Umg-G	39.11	-34.9%	-36.8%	-35.1%	-36.9%	-30.1%	-30.2%	-28.3%	-28.4%

#### 4.2.3.6 Aggregierte Ergebnisse der Emissionsmodellierung

Zusammengefasst zeigen die Berechnungen, dass:

- mit der Citymaut Fahrleistungen und Emissionen im Maßnahmengebiet um etwa 20 % gesenkt werden können
- mit den tageweisen Fahrverboten die Fahrleistungen und Emissionen im Maßnahmengebiet um etwa 10 % gesenkt werden können
- zusätzlich eine Verkehrsverflüssigung mit tendenziell positiven Effekten auf die Emissionsniveaus auftritt
- die Größe des Maßnahmengebietes auf die Ergebnisse wenig Einfluss hat, allerdings liegt das Grazer Stadtgebiet in beiden Szenarien im Maßnahmengebiet.
- die Mauthöhe in der Simulation erstaunlich wenig Einfluss zeigt. Der Maßnahmeneffekt steigt bei einer Mautgebühr von €8 je Tag gegenüber einer Gebühr von €3 je Tag nur um etwa 10% (z.B. CM\_1.2 vs. CM\_1.1 in Tabelle 21 bzw. Abbildung 32).



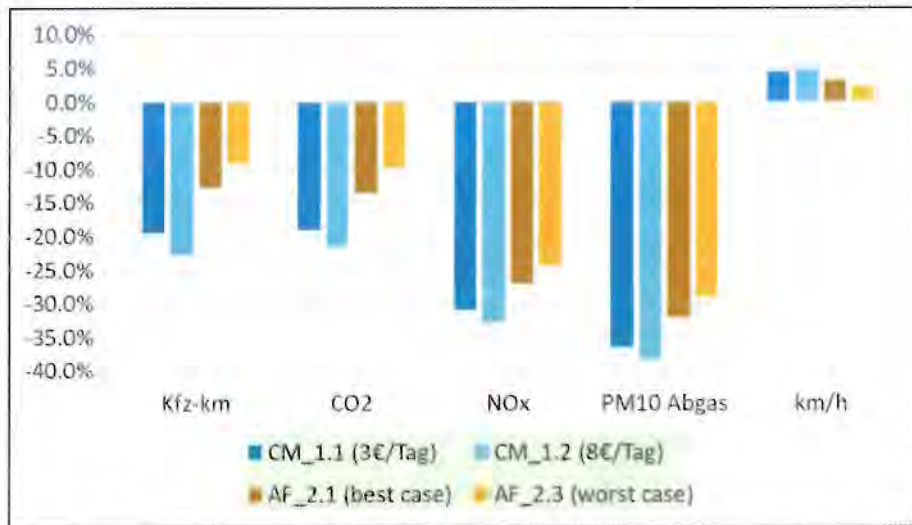


Abbildung 33: Änderungen im gesamten Untersuchungsgebiet in den Szenarien 2020 gegenüber dem Basisfall

#### 4.2.4 Abschätzung der erforderlichen Schadstoffreduktion

Ausschlaggebend für die gegenständliche Studie sind die Überschreitungen der Grenzwerte für die Luftschadstoffe Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) und Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) an ausgesuchten Messstationen innerhalb des Sanierungsgebietes „Großraum Graz“. An der Messstation Graz-Don Bosco wurden 2016  $123 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_x$  bzw.  $42,4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ , 2017  $128 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_x$  bzw.  $45,1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$  gemessen.

Unter der Annahme, dass sich die  $\text{NO}_x$ - bzw.  $\text{NO}_2$ -Immissionen entsprechend den Emissionen entwickeln werden (d.h. dass die  $\text{NO}_x$ - bzw.  $\text{NO}_2$ -Belastung zum überwiegenden Teil aus dem Verkehr stammt und sich die Belastung auch im Hintergrund entsprechend ändert), erfordert die Erreichung des  $\text{NO}_2$ -Grenzwertes von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemäß Abbildung 34 eine Reduktion der  $\text{NO}_x$ -Emissionen um ca. 20 %, um die  $\text{NO}_x$ -Immissionen auf  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu senken. Für eine Reduktion der  $\text{NO}_2$ -Immissionen auf den IG-L-Grenzwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wäre nach dieser Abschätzung eine Reduktion der  $\text{NO}_x$ -Emissionen um mehr als 50 % notwendig.

Zum Luftschadstoff  $\text{PM}_{10}$  können, vorrangig aufgrund der hohen Hintergrundbelastung und der Sekundärpartikelbildung keine vergleichbaren Abschätzungen angestellt werden.

## 5 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

### 5.1 Wirkungsanalyse

Die Modellergebnisse zeigen, dass bei der gegenwärtigen Fahrzeugflotte die größten Emissionseinsparungen bei der Einrichtung einer Citymaut mit einer Tagesgebühr in der Höhe von 8 € erzielt werden können: -20,8 % CO<sub>2</sub>, -17,2 % NO<sub>x</sub>, -20,2 % PM<sub>10</sub> aus der Verbrennung im Mittel über das gesamte Untersuchungsgebiet. Bei einer reduzierten Tagesgebühr von 3 € reduziert sich das Einsparungspotential aller Emissionsarten um 2,0 % bis 2,5 %-Punkte. Bei der Verordnung autofreier Tage nach dem Rotationsprinzip in Abhängigkeit der letzten Ziffer des Kennzeichens ist das Einsparungspotential deutlich geringer und abhängig von den Annahmen. So ergibt sich eine Bandbreite von -8,9 % bis -12,8 % bei CO<sub>2</sub>, -7,3 % bis -10,5 % bei NO<sub>x</sub> bzw. -8,7 % -12,5 % bei PM<sub>10</sub> aus der Verbrennung.

Im Jahr 2020 kombinieren sich die Auswirkungen der jeweiligen Maßnahme mit dem Effekt der natürlichen Flottenerneuerung, eine weitere Emissionsreduktion ist die Folge. Während die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Neuzulassungen pro Jahr nur geringfügig abnehmen, sind im Bereich der NO<sub>x</sub>- und PM<sub>10</sub>-Emissionen signifikante Reduktionen zu erwarten. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass für neuere Fahrzeuge strengere Grenzwerte gelten, die im Rahmen des neuen Prüfzyklus unter der Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP) nicht nur im Testlabor sondern auch unter realen Fahrbedingungen eingehalten werden müssen. Dies erfordert den Einsatz effektiver Abgasnachbehandlungssysteme.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen können so um -31,0 % (Citymaut mit 3 € Gebühr) bis -32,8 % (Citymaut mit 8 € Gebühr) bzw. im Rahmen eines autofreien Tages um -24,4 % bis -27,1 % reduziert werden. Bei den Feinstaubemissionen beläuft sich das Einsparungspotential auf -36,4 (CM\_1.1) bzw. -36,5 % (CM\_1.3) bis -38,4 % (CM\_1.2, CM\_1.4) bzw. -29,2 % bis -32,3 % beim autofreien Tag.

Auffällig ist, dass eine mögliche Erweiterung des Maßnahmenggebietes um das Gratwein-Gratkorner-Becken keinen nennenswerten Einfluss auf das Einsparungspotential im gesamten Untersuchungsgebiet hat.

**Unter der Annahme einer 100%igen Entrichtung der Gebühr kann festgehalten werden, dass mit der Einhebung einer Citymaut in der Höhe von 8 € je Tag und Fahrzeug die größten Emissionseinsparungen erzielt werden können, eine Citymaut in der Höhe von 3 € je Tag aber nicht viel geringere Effekte zeigt.**

### 5.2 Kostenanalyse

Je nach Maßnahme, die zur Umsetzung gebracht werden soll, sind unterschiedliche Kostenpositionen zu berücksichtigen. Diese ergeben sich in Abhängigkeit der (technischen) Ausgestaltung der Maßnahme und der Definition der Rahmenbedingungen.

Für die Umsetzung des **autofreien Tages** fallen zunächst keine Systemkosten an, da weder fahrzeugseitig noch infrastrukturseitig Elektronik zum Einsatz kommen muss. Die Kontrolle der Einhaltung muss im Fließverkehr erfolgen und



kehrts oder den Entgang von Mineralölsteuer, durch die Mauteinnahmen nach einigen Jahren amortisieren. Diese Amortisation wird früher erreicht, wenn man die Reduktion der externen (volkswirtschaftlichen) Kosten des Verkehrs, wie beispielsweise Zeitkosten, Unfallkosten, Gesundheitskosten oder Klimakosten, berücksichtigt.

Weiters sei auf die Kosten für die Informationskampagne hingewiesen, die zu jeder Maßnahme begleitend durchgeführt werden muss. Diese Kampagne kann sich auf ein Inserat in einer lokalen Tageszeitung beschränken oder Plakate, Postwurfsendungen oder Informationseinschaltungen in Radio und Fernsehen umfassen. Die Kosten unterliegen damit auch hier einer großen Bandbreite.

Das Beispiel der Informationskampagne zeigt exemplarisch, dass die Maßnahmen in den modellierten Szenarien nur bedingt mit Kosten (und Einnahmen) hinterlegt werden können. Die Kosten sind vorrangig abhängig von der technischen Ausgestaltung der jeweiligen Maßnahme und unterliegen am Beispiel der Stadt Graz einer Bandbreite von wenigen Tausend Euro bis hin zu mehreren Millionen Euro. Aus diesem Grund ist eine belastbare Kostenabschätzung zu diesem Projektzeitpunkt weder möglich noch zielführend.

Nicht zu vergessen sind auch mögliche Mehrkosten im Öffentlichen Verkehr, da eine Akzeptanz der Maßnahmen bei ausreichend vorhandener Transportkapazität im ÖV, um die vom MIV verlagerten Wege aufzunehmen, eher zu erwarten ist.

**Es wird empfohlen, die angestrebte technische Ausgestaltung in einem ExpertInnengremium zu diskutieren und, gegebenenfalls in Szenarien, zu definieren. Diese Definition soll als Grundlage für eine eingehende Kosten-Nutzen-Analyse dienen.**

mens zu erarbeiten – ein Prozessschritt, der mit dem gegenständlichen Arbeitsauftrag gleichgesetzt werden kann. Die Inbetriebnahme erfolgte 6 Jahre später im Februar 2003. Diese Beispiele zeigen, dass, unabhängig vom technischen Design, eine Realisierung eines Citymaut-Systems in Graz bis zum Jahr 2020 sehr unwahrscheinlich ist.

Wir leiten damit folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen ab:

- Sowohl der autofreie Tag als auch die Citymaut sind effiziente Maßnahmen zu Senkung der Verkehrsmengen und der damit verbundenen Umweltbelastungen.
- Die Citymaut zeigt in der simulierten Form fast den doppelten Effekt auf Fahrleistung und Emissionen wie der autofreie Tag.
- Citymaut-Systeme sind mit hohem Planungs- und Umsetzungsaufwand verbunden und lassen demzufolge keine kurzfristige Wirksamkeit erwarten.
- Langfristig könnte ein Autofreier Tag nach Kennzeichen zu Ausweichen auf andere Kfz (Mofas, Roller, 2.-PKW) führen.
- Die ÖV Auslastungen werden aufgrund der Maßnahmen zu den Spitzenstunden auf einzelnen Linien deutlich ansteigen.
- Die Citymaut führt langfristig zu Mehreinnahmen, die zur Verbesserung des ÖV sowie der Rahmenbedingungen für aktive Mobilität führen können.

**Als Gesamtkonzept hat die Citymaut langfristig betrachtet Vorteile gegenüber dem autofreien Tag: eine deutlich stärkere Reduktion der Luftschadstoffemissionen und Einnahmen, mit denen erforderliche Ausbauten im ÖV-Angebot und aktiver Mobilitätsinfrastruktur ermöglicht werden können. Zudem kann die Gebühr an gewünschte Nachfrageeffekte angepasst werden.**

**Der autofreie Tag zeigt vergleichbar weniger Wirkung und erfordert zu Spitzenzeiten vermutlich ebenso wie die Einrichtung eines Citymaut-Systems ein erweitertes ÖV-Angebot, wobei keine Einnahmen zur Finanzierung generiert werden. Dafür erfordert die Maßnahme weniger administrativen Aufwand und geringere Investitionen und könnte daher schneller umsetzbar sein, was hinsichtlich einer Handlungsempfehlung zur kurzfristigen Reduktion der Luftschadstoffemissionen zu berücksichtigen ist.**

**Insgesamt wird, vorbehaltlich der Ergebnisse einer etwaigen Analyse wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Auswirkungen, die Einhebung einer Citymaut im bestehenden Sanierungsgebiet „Großraum Graz“ empfohlen. Die Frage nach der erforderlichen Höhe der Gebühren sollte im Rahmen der genannten Kosten-Nutzen-Analyse beantwortet werden. Falls eine zeitnahe Realisierung eines Citymaut-Systems in Graz innerhalb der kommenden zwei bis drei Jahre nicht zu erwarten ist, stellt die Verordnung autofreier Tage eine wertvolle Alternative dar.**



Abbildung 24: Bi-modale Zielverkehre in und nach Graz im Citymaut Planfall CM_1.4 .....	53
Abbildung 25: Bi-modale Zielverkehre in und nach Graz im autofreien Tag Planfall AF_2.2.....	54
Abbildung 26: Bi-modale Zielverkehre in und nach Graz im autofreien Tag Planfall AF_2.4.....	55
Abbildung 27: links: Differenz der PKW Streckenbelastungen zwischen Basisfall und Planfall CM_1.4 im Maßnahmensgebiet; rechts: Differenz der PKW Streckenbelastungen zwischen Basisfall und Planfall AF_2.2 im Maßnahmensgebiet.....	55
Abbildung 28: Differenz der PKW Streckenbelastungen zwischen Planfall CM_1.4 und Planfall AF_2.2 im Maßnahmensgebiet.....	56
Abbildung 29: Belastungen im ÖV am Bahnhof Feldbach in CM_1.4 .....	58
Abbildung 30: Belastungen im ÖV am Bahnhof Feldbach in AF_2.4 .....	58
Abbildung 31: Schematische Darstellung Modell NEMO-Road.....	62
Abbildung 32: Änderungen im gesamten Untersuchungsgebiet in den Szenarien 2018 gegenüber dem Basisfall .....	74
Abbildung 33: Änderungen im gesamten Untersuchungsgebiet in den Szenarien 2020 gegenüber dem Basisfall .....	75
Abbildung 34: Zusammenhang zwischen dem NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert an der Station Graz Don Bosco für die Jahre 2010 bis 2017 sowie empirischer Zusammenhang nach (Bächlin, Böisinger, Brandt, & Schulz, 2006).....	76
Abbildung 35: Räumlich Abgrenzung des Verkehrsmodells GUARD.....	88
Abbildung 36: Aufbau des Verkehrsnachfragemodells GUARD.....	91
Abbildung 37: Tagesganglinie für WA und AW.....	94
Abbildung 38: Wegeketten (GUARD) der 13 verhaltenshomogenen Gruppen (mit den Aktivitäten W=Wohnung, E=Einkaufen, F=Freizeit, S=Schule/Bildung, A=Arbeit).....	95

## LITERATURVERZEICHNIS

- ASL. (2017). *Luftgütemessungen in der Steiermark, Jahresbericht 2016*. Graz: Amt der Steiermärkischen Landesregierung.
- Bächlin, W., Bössinger, R., Brandt, A., & Schulz, T. (2006). Überprüfung des NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 66, S. 154 - 157.
- Dippold Martin, Ibesich, N., Lichtblau, G., Obermayer, C., Pözl, W., Rexeis, M., et al. (2013). *STREET 2030 - Streckenspezifisches Energie-, Emissions- und Verkehrsmodell 2030. Publizierbarer Endbericht NEUE ENERGIEN 2020*. Wien.
- Dippold, M. (2016). *Entwicklung eines Simulationsmodells zur Ermittlung von Energieverbrauch und Emissionen auf Verkehrsnetzwerken*. Graz: Dissertation, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz.
- Dippold, M., Rexeis, M., & Hausberger, S. (2012). NEMO – A Universal and Flexible Model for Assessment of Emissions on Road Networks. *19th International Conference „Transport and Air Pollution“*, 26. – 27.11.2012. Thessaloniki.
- FSV. (2013). RVS 02.01.11 - Grundsätze der Verkehrsplanung.
- Haberl, M., Fellendorf, M., & Medicus, E. (2016). *Verdichtung der Zählstellen im Wiener Straßennetz - Studie zur Standortoptimierung*. Graz.
- Hausberger, S., & Rexeis, M. (2005). Calculation of Vehicle Emissions in Road Networks with the model "NEMO". *Transport and Airpollution Conference*. Graz: ISBN: 3-902465-16-6.
- Hausberger, S., & Rexeis, M. (2008). Trend of vehicle emission levels until 2020 – Prognosis based on current vehicle measurements and future emission legislation. *Atmospheric Environment*, S. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.034.
- Hausberger, S., Rexeis, M., Zallinger, M., & Luz, R. (2009). *Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3. Report Nr. I-20/2009 Haus-Em 33/08/679*.
- Latic, A. (2017). *ÖV Erreichbarkeit. Vergleich des städtischen und ländlichen Raums in der Südsteiermark*. Masterarbeit, Technische Universität Graz.
- Leihns, D., Siegl, T., & Hartmann, M. (2014). *City-Maut, Nutzen und Technologien von Systemen zum Steuern der Zufahrt in Zonen*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Neuhold, R., Cik, M., & Fellendorf, M. (2011). Verkehrsemissionen: Typisierte Verkehrsbelastungsganglinien in der Emissionsberechnung. *Straßenverkehrstechnik*, S. 773-781.
- ÖROK. (2017). *Entwicklung eines Umsetzungskonzeptes für österreichweite ÖV-Güteklassen. Abschlussbericht*. Wien.



## APPENDIX VERKEHRSMODELL GUARD

Grundlegend dienen makroskopische Verkehrsnachfragemodelle der Wirkungsermittlung im Rahmen eines Verkehrsplanungsprozesses. Makroskopische Verkehrsnachfragemodelle sind Teil einer formalen Wirkungsermittlung und bilden Ortsveränderungen von Personen (und Gütern) modellhaft ab. Verkehrsmodelle können sowohl zur Analyse des IST-Zustandes als auch für prognostizierte Planungszustände (Szenarien) eingesetzt werden, wie in dieser Studie zur Abbildung der Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in Graz notwendig wird. Anhand quantitativ ermittelbarer Kenngrößen werden Veränderungen einzelner Planungsvarianten gegenüber dem IST-Zustand bestimmt.

Verkehrsmodelle beinhalten das Straßennetz sowie das Netz des öffentlichen Verkehrs. Viele Wege werden aber nicht nur mit dem MIV (als Fahrer oder Mitfahrer) und dem ÖV, sondern auch zu Fuß oder mit dem Rad zurückgelegt. Verkehrsmodelle, die alle relevanten Fortbewegungsarten berücksichtigen, werden als multimodal bezeichnet. Weiterführend reagieren multimodale Verkehrsmodelle nicht nur auf zukünftige Änderungen des Verkehrsangebots, sondern auch auf Änderungen in der Siedlungs-, Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur. Somit können Aussagen über ein bestehendes Verkehrsangebot unter Berücksichtigung der zukünftigen prognostizierten Entwicklungen getroffen werden. Um Auswirkungen aufgrund von Änderungen in einem Planungsgebiet feststellen zu können, muss die Wirklichkeit realitätsnah nachgebildet werden. Ein gutes Verkehrsmodell zeichnet sich dadurch aus, dass es reale Wirkungszusammenhänge korrekt und hinreichend genau wiedergibt. Dazu sind Daten, die Ist-Zustände (beispielsweise Bevölkerungs- und Wirtschaftszahlen) beschreiben und Funktionen, die die Daten miteinander verknüpfen, erforderlich. Zusätzlich werden Daten benötigt, die das Verhalten der im Untersuchungsgebiet lebenden Personen widerspiegeln.

Wesentliches Element jedes Verkehrsmodells stellt dabei die Verbindung von Verkehrsangebot und -nachfrage dar. Die Verkehrsangebotsmodellierung beinhaltet die Abbildung aller dem Verkehrsangebot zuordenbaren Elemente und wird als Netzmodell bezeichnet. Dieses Netzmodell besteht aus Verkehrszellen (Bezirke), Knoten, Haltestellen, den Strecken und aus den ÖV-Linien mit ihren Fahrplänen. Die Genauigkeit der Abbildung der Netzelemente für eine verkehrsplanerische Berechnung und die daraus ableitbaren Wirkungen sind abhängig vom geforderten Differenzierungsgrad. Die Verkehrsnachfrage ist definiert als Befriedigung des mittelbaren Bedürfnisses Fortbewegung, welches durch die räumliche Trennung der verschiedenen Aktivitätsbedürfnisse wie z.B. Arbeiten, Wohnen etc. verursacht wird. Als Verkehrsnachfrage sind daher alle Ortsveränderungen von Subjekten (z.B. Personen) oder Objekten (z.B. Fahrzeuge) zu verstehen, die unter den politischen, ökonomischen und verkehrsplanerischen Gegebenheiten realisiert werden.

Die Aufgabe von Verkehrsnachfragemodellen ist es, die Verkehrsnachfrage in Abhängigkeit von der Raum- und Siedlungsstruktur, (Verteilung der Wohnbevölkerung, Arbeits- und Ausbildungseinrichtungen etc.) dem Verkehrsangebot (Verkehrsinfrastruktur) und den relevanten Verhaltensweisen der Bevölkerung zu quantifizieren. Eine wichtige Rolle spielt hierbei der Entscheidungsprozess einer Person, welche eine Ortsveränderung anstrebt. Dieser Prozess umfasst



## Verkehrsangebot

Das zugrundeliegende Straßennetz wurde aus dem Integrierten Wegenetz (IWN) des Landes Steiermark entwickelt. Das IWN ist der Vorläufer des heutigen GIP-Netzes. Im Rahmen der Projekte GUARD und des anschließenden FFG-Projektes VEGIS wurde das IWN-Netz seitens der TU Graz verbessert und an das Land Steiermark übergeben, so dass die Netzänderungen auch in die GIP zurückgespielt wurden.

Das Modell umfasst mehr als 54.000 Knoten, wobei signalgesteuerten Knotenpunkte im Grazer Stadtgebiet gesondert modelliert wurden. Die Anzahl der Strecken beläuft sich auf über 132.000. Jede Strecke ist einem Typ zugeordnet. Die Typisierung der Strecken erfolgt auf Basis der baulichen Struktur und der Verkehrsbedeutung. Zudem muss für jede Strecke die zulässige Geschwindigkeit, die zulässigen Verkehrssysteme für ein korrektes Routing und die Kapazität für den IV definiert sein.

Die räumliche Aufteilung eines Verkehrsmodells geschieht mittels 983 Bezirken, wobei 290 auf das Stadtgebiet von Graz entfallen. Durch die rund 8.000 Anbindungen werden die in den Verkehrsbezirken erzeugten Fahrten auf das Netzmodell umgelegt. Während im Ballungsraum Graz die räumliche Modellauflösung sehr fein ist, nimmt diese mit zunehmender Entfernung zur Stadt ab. Ortsveränderungen beginnen und enden in Bezirken (=Verkehrszellen). Jeder Bezirk enthält Informationen über Strukturgrößen und der berechneten Nachfragegrößen. Die Einteilung der Grazer Stadtbezirke beruht auf Basis der Zählsprengel. Im ländlichen Raum geben die gewählten Bezirke grundsätzlich die Flächen der Gemeinden wieder. Gemeinden mit einer größeren Anzahl von Einwohnern werden zusätzlich unterteilt, sodass auf einen Bezirk in etwa 1000 Einwohner entfallen. Die Verkehrszelleneinteilung berücksichtigt damit neben den Verwaltungsgrenzen (Katastralgemeinden, Bezirke und Gemeinden) zudem Strukturen im Planungsraum (Topographie, Verkehrsnetz und Flächennutzung), Zellhomogenität hinsichtlich Einwohnerzahl, die zu einem Splitten von Verkehrszellen in städtischen Gebieten führt (Basis: Zählsprengel) und andere Raumzusammenhänge (zentralörtliche Gliederung, Art des Siedlungsraums).

Die Verknüpfung der Bezirke mit dem Verkehrsnetz wird mittels Anbindungen erreicht. Jeder Bezirk muss eine für IV und ÖV richtige Anbindung zum Netz aufweisen, damit im Modell Ortsveränderungen realisiert werden können. Eine Anbindung entspricht den verkehrssystemfeinen Zu- und Abgangswegen zwischen Bezirksschwerpunkt und den Anbindungsknoten. Die Verknüpfung eines Bezirks zum Netz des öffentlichen Verkehrs wird durch eine Anbindung vom Bezirksschwerpunkt zu einem Knoten, der der Zugangspunkt für einen Haltestellenbereich sein muss, hergestellt. Für jede Anbindung können die zulässigen Verkehrssysteme mit den entsprechenden Zu- und Abgangszeiten festgelegt werden. Eine vereinfachte Modellierung von Park&Ride wird zudem anhand der Anbindungen im Verkehrsmodell realisiert.

Das ÖV-Angebot umfasst alle Linien mit den zugehörigen Routen, Haltestellen und Fahrplänen. Die im Modell enthaltenen Informationen entstammen aus DIVA-Daten<sup>5</sup>. Die DIVA-Datensätze wurden vom Steirischen Verkehrsverbund zur Verfügung gestellt und stellen das ÖV-Angebot aus dem Jahr 2016 dar.

<sup>5</sup> DIVA: dialoggesteuertes Verkehrsmanagement und Auskunftssystem der Firma Mentz



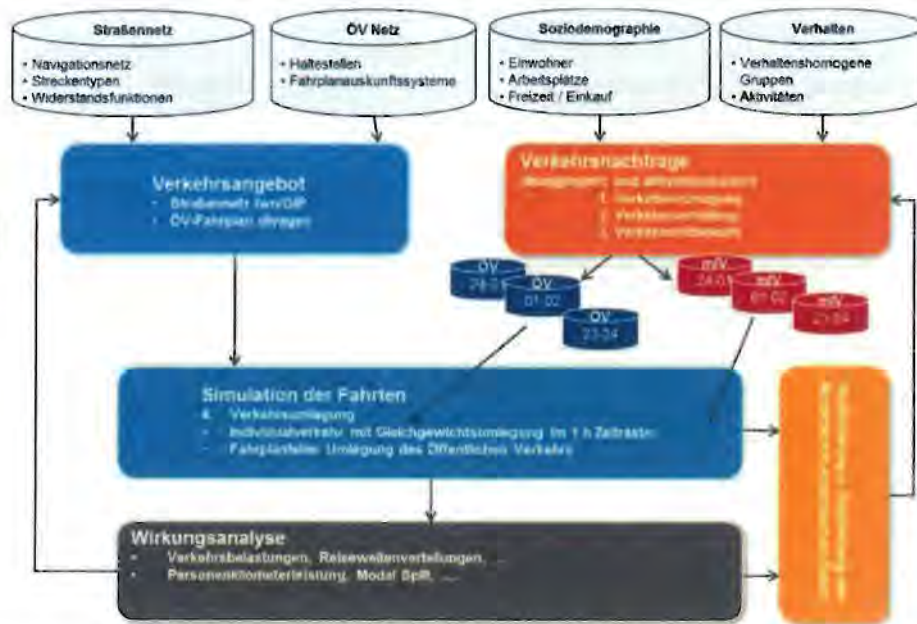


Abbildung 36: Aufbau des Verkehrsnachfragemodells GUARD

Die ersten drei Schritte (Verkehrserzeugung, -verteilung und mittelwahl) werden in GUARD simultan über die aktivitätenorientierte Modellimplementierung VISEM<sup>6</sup> durchgeführt. Nach der Verkehrsumlegung werden die belastungsabhängigen Widerstände iterativ für die Nachfrageberechnung wiederverwendet, bis der Prozess in einen Gleichgewichtszustand fällt. Anschließend erfolgt eine Modellkalibrierung durch Vergleich modellierter mit empirisch erhobenen Werten. Im Kalibrierungsschritt wurden Widerstandsparameter des Zielwahlmodells und Parameter des Logit-Verkehrsmittelwahlmodells so verändert, dass die Differenz zwischen modellierten und gemessenen Querschnittsbelastungen des Kfz-Verkehrs, Einsteigern- und Aussteigern des Öffentlichen Verkehrs und der Fahrtweitenverteilung aus der Grazer Mobilitätsbefragung aus dem Jahr 2013 minimiert wurde.

Im multimodalen, aktivitätenorientierten Verkehrsnachfragemodell wird das Verkehrsverhalten für Fußgänger, Radfahrer, Pkw-Lenker, Pkw-Mitfahrer und den ÖPNV stundenfein ermittelt; d.h. nach Programmdurchführung existieren für einen durchschnittlichen Werktag für Kfz und ÖPNV jeweils 24 Einzelnachfragematrizen, die sich zu je einer Tagesmatrix aufaddieren.

Diese detailliert ermittelte Nachfrage existiert nur für den Binnenverkehr innerhalb des Untersuchungsgebiets. Verkehre mit Quelle oder Ziel außerhalb des modellierten Großraums Graz wurden durch ein externes Modell berücksichtigt. Diese sogenannten Quell-Ziel-Durchgangsverkehre wurden aus dem nationalen Verkehrsmodell Österreich (VMÖ) ausgeschnitten und als Kordonverkehre hinzuaddiert. Der Wirtschaftsverkehr im Untersuchungsgebiet wurde durch ein vereinfachtes Gravitationsmodell berechnet und mit der Lkw-Matrix aus dem VMÖ-Modell abgeglichen.

<sup>6</sup> Fellendorf, M., T. Haupt, U. Heidl and W. Scherr (1997): PTV Vision: Activity-based micro-simulation model for travel demand forecasting. in D.F. Eltema and H.J.P. Timmermans (Eds.) Activity-based approaches to travel analysis, p. 55-72, Pergamon, Oxford

VHG 3	Sch	Schüler
VHG 4	Azubi	Auszubildende bzw. Lehrlinge
VHG 5	Stud	Studenten
VHG 6	EmP	Erwerbstätige mit Pkw
VHG 7	EoP	Erwerbstätige ohne Pkw
VHG 8	NEmP	Nichterwerbstätige < 65 Jahre mit Pkw
VHG 9	NEoP	Nichterwerbstätige < 65 Jahre ohne Pkw
VHG 10	RJmP	Rentner jünger < 75 Jahre mit Pkw
VHG 11	RJoP	Rentner jünger < 75 Jahre ohne Pkw
VHG 12	RAmP	Rentner älter ≥ 75 Jahre mit Pkw
VHG 13	RAoP	Rentner älter ≥ 75 Jahre ohne Pkw

Das Modell VISEM geht davon aus, dass Fahrtzwecke bzw. außerhäusliche Aktivitäten Ortsveränderungen verursachen. Im Modell Großraum Graz werden 8 verschiedene Aktivitäten definiert. Jeder Aktivität (bis auf die Heimaktivität „Wohnen“) wird eine Strukturgröße zugeordnet. Der Wert der Strukturgröße dient als Zielpotential in der Verkehrsverteilung. Aus diesen Aktivitäten werden zunächst Aktivitätenpaare (beispielsweise WA, AE, EW, usw.) und anschließend Aktivitätenketten gebildet. Jede Aktivitätenkette beginnt und endet mit der Aktivität „Wohnen“ (zum Beispiel WAEW).



die Wahrscheinlichkeit ihrer täglichen Ausübung je Personengruppe angegeben werden. Diese Wahrscheinlichkeit wird durch die Mobilitätsrate ausgedrückt. Aus Mobilitätsuntersuchungen ist bekannt, dass die Wegeanzahl und die Wegeketten zwischen den verhaltenshomogenen Gruppen stark variieren. Es wurde die Wegekettenzuordnung der nachfolgenden Abbildung verwendet. Bezogen auf einen Tag, legt ein Erwerbstätiger mit Pkw-Verfügbarkeit mit 75% Wahrscheinlichkeit die Wegekette Wohnen-Arbeit-Wohnen zurück. Mehrelementige Wegeketten treten mit geringer Wahrscheinlichkeit auf. Nicht-Erwerbstätige führen teilweise Gelegenheitsarbeiten durch, so dass auch sie mit geringer Wahrscheinlichkeit eine Kette WAW aufweisen.

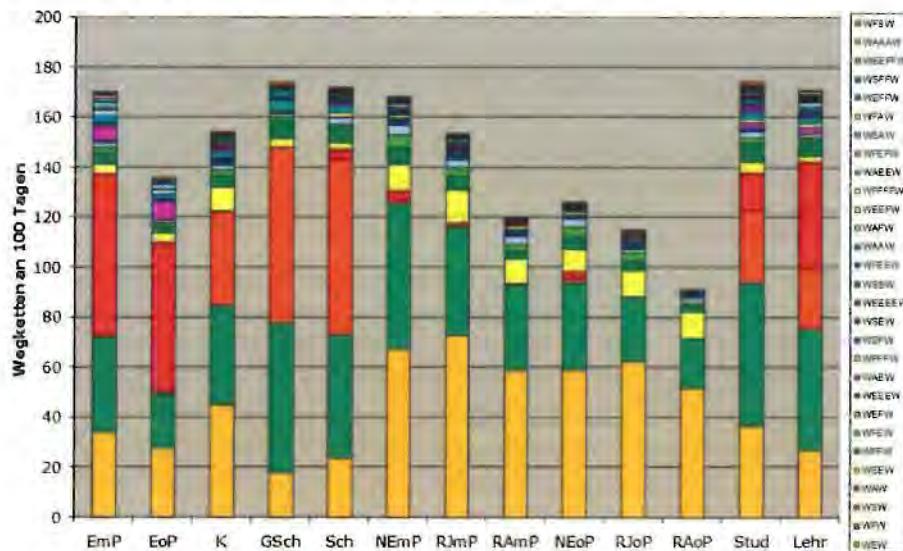


Abbildung 38: Wegeketten (GUARD) der 13 verhaltenshomogenen Gruppen (mit den Aktivitäten W=Wohnung, E=Einkaufen, F=Freizeit, S=Schule/Bildung, A=Arbeit)

### Kombinierte Verkehrsverteilung/Verkehrsmittelwahl

Die Berechnung der Verkehrsverteilung und der Verkehrsmittelwahl erfolgt innerhalb eines Verfahrensschrittes. Da aber für beide Arbeitseinheiten unterschiedliche Aspekte zur Geltung kommen, werden sie nachfolgend getrennt voneinander betrachtet.

#### Verkehrsverteilung

Der aus der Verkehrserzeugung errechnete Quellverkehr eines jeden Bezirks wird nach dem Ansatz des Gravitationsmodells entsprechenden Zielen zugeordnet. Aus diesem Ansatz wird erkennbar, dass die Verkehrsverteilung im Wesentlichen vom Zielpotential eines Bezirks und von den Entfernungen zwischen Zellen bestimmt wird. Diese beiden Kriterien sind in der Widerstandsfunktion der Verkehrsverteilung verankert. Der Widerstandsfunktion ist der Funktionstyp Logit zugewiesen. Ein Logit-Modell verwendet eine negative Exponentialfunktion als Widerstandsfunktion.

Der Quellverkehr wird aufgrund von außerhäuslichen Aktivitäten erzeugt. VISEM ordnet den Quellverkehr somit einen Zielbezirk in Abhängigkeit von der Zielaktivität zu. Jene Bezirke, in denen eine Zielaktivität nicht ausgeübt werden kann, scheiden als Zielbezirke aus. Die restlichen Bezirke konkurrieren miteinander. Ausschlaggebend ist letztendlich, welches Zielpotential ein Bezirk auf-

Tabelle 27: Kenngrößen zur Bestimmung des Modal Splits

	F	M	ÖV	P	R
<b>Angebotsparameter</b>					
Bedienungshäufigkeit/Takt			x		
Pkw-Verfügbarkeit				x	
<b>Widerstände</b>					
Zu- und Abgangszeiten		x	x	x	x
Parkraumangebot		x		x	
Reisezeiten (belastungsabhängig)		x		x	
Reisezeiten (belastungsunabhängig)	x		x		x
Variable Kosten		x	x	x	
Citymaut Kosten		x		x	

F = Fußgänger, M = Pkw-Mitfahrer, Ö = ÖV, P = Pkw-Selbstfahrer, R = Radfahrer

Das GUARD-Verkehrsmodell reagierte bis zu dieser Studie noch nicht kosten-sensitiv. Innerhalb des Projektes wurden die variablen Kosten von Fahrten mit dem ÖV und dem PKW als Fahrer bzw. Mitfahrer in die Widerstandsfunktion der Moduswahl integriert. Dabei wurden Preis-Elastizitäts-Betrachtung im Zuge der Modell-Neukalibrierung berücksichtigt, welche gewährleisten, dass das Modell in angemessener Weise auf Kostenänderungen reagiert.

Die Modellierung der Kostenkomponenten stützen sich auf Erfahrungswerten aus vergleichbaren Verkehrsmodellen aus Deutschland. Wie auch im Buch City-Maut (Leihns, Siegl, & Hartmann, 2014) beschrieben muss die Zahlungswilligkeit der Verkehrsteilnehmer infolge geänderten Bedingungen im Verkehrsnetz ausreichend genau reflektiert werden. Die Zahlungswilligkeit wird durch den Value-of-Time (VoT) beschrieben, welcher zahlreiche verkehrliche Aspekte beeinflusst, insbesondere die Verkehrsnachfrage, die Verkehrsverteilung, die Moduswahl sowie die Routenwahl. Das Modell GUARD wird demnach in dieser Studie nach dem VoT-Konzept aufgebaut um die Kosten (Widerstände) für die Reisezeit, die Zugangs- und Abgangszeiten sowie auch die Bedienungshäufigkeit im ÖV mit den monetären Kosten der Citymaut in Übereinstimmung zu bringen.

Änderungen von Kosten (beispielsweise Erhöhung von ÖV-Ticketpreisen oder Spritpreisen) sollen einen Einfluss auf die Moduswahl besitzen ohne dabei jedoch zu stark zu reagieren. Eine komplette Neukalibrierung des gesamten Verkehrsmodells war dadurch die Folge. Für die zu untersuchenden Planfälle der Citymaut fallen für Fahrten mit dem PKW und auch für den Mitfahrer zusätzliche Kosten an, auf welche die Personengruppen bei verschiedenen Aktivitäten unterschiedlich reagieren. So ist die Kostensensitivität für einen Erwerbstätigen mit PKW-Verfügbarkeit für eine Fahrt zur Arbeit nicht so stark gegeben, wie für einen Studenten mit dem Fahrtziel zur Hochschule. Bei der Berücksichtigung




## Überblick

Kenngrößen für das integrierte multimodale Verkehrsmodell Guard lauten zusammengefasst:

MERKMAL	MODELLSTRUKTUR
MODELLNAME	Nachfragemodell GUARD 2016
SOFTWARE	Visum 16.01-10 mit integriertem Visem
ANZAHL VERKEHRSBEZIRKE	983 davon 564 im Untersuchungsgebiet
ANZAHL STRECKEN	132.766 davon 57.138 im Untersuchungsgebiet
ANZAHL KNOTEN	54.445 davon 21.999 im Untersuchungsgebiet
HALTESTELLEN	9.308 davon 2.217 im Untersuchungsgebiet mit 20.813 Haltepunkten davon 5.524 im Untersuchungsgebiet
ÖV-LINIEN	763 (7.824 Linienrouten und 7.927 Fahrzeugprofile)
NACHFRAGESTRUKTUR	aktivitätenorientiert mit 13 verhaltenshomogenen Personengruppen (VHG's)
VERKEHRSMITTEL	Pkw, Lkw, ÖV, Mitfahrer, Fußgänger u. Radfahrer
BEZUGSZEITRAUM	Stundenfeines Nachfragemodell für werktäglichen Verkehr mit 24 Nachfragematrizen pro Verkehrsmittel

	<b>Signiert von</b>	Prutsch Werner
	<b>Zertifikat</b>	CN=Prutsch Werner,O=Magistrat Graz, L=Graz,ST=Styria,C=AT,
	<b>Datum/Zeit</b>	2018-06-05T12:06:16+02:00
	<b>Hinweis</b>	Dieses Dokument wurde digital signiert und kann unter: <a href="https://sign.app.graz.at/signature-verification">https://sign.app.graz.at/signature-verification</a> verifiziert werden.

	<b>Signiert von</b>	Wirnsberger Tina
	<b>Zertifikat</b>	CN=Wirnsberger Tina,O=Magistrat Graz, L=Graz,ST=Styria,C=AT,
	<b>Datum/Zeit</b>	2018-06-05T15:49:00+02:00
	<b>Hinweis</b>	Dieses Dokument wurde digital signiert und kann unter: <a href="https://sign.app.graz.at/signature-verification">https://sign.app.graz.at/signature-verification</a> verifiziert werden.