

# Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades  
"Diplomingenieur (FH)"

## **Beurteilung möglicher Mautkonzepte (Technologien) für deren Einsatz auf dem niederrangigen Straßennetz**

ausgeführt von

Michael Polt  
Dietweis 33, 3860 Heidenreichstein

Begutachter:

1. Begutachter: Mag. Michael Grill
2. Begutachter: Dr. Reinhard Pfliegl

Wien, Mai 2006

Ausgeführt an der Fachhochschule Technikum Wien  
Studiengang EID



## **Kurzfassung und Abstract**

Das ständig steigende Verkehrsaufkommen in Österreich führt bereits zur Überlastung einzelner Streckenabschnitte des Straßennetzes. In Relation zum wachsenden Verkehrsaufkommen steigt ebenfalls die Zahl der Unfälle und Staus, was wiederum negative Auswirkungen auf die beanspruchte Infrastruktur und deren Umwelt hat. Aus diesem Grund werden Maßnahmen zur Verringerung dieser Problematik benötigt.

Diese Arbeit befasst sich mit der Analyse und Beurteilung möglicher Mautkonzepte auf dem niederrangigen Straßennetz als mögliche Maßnahme. Im ersten Teil der Arbeit wird dabei auf Grundlagen der Telematik, Basiskonzepte von Mautsystemen sowie die Charakterisierung von Straßennetzen eingegangen. Weiters folgt eine Analyse der notwendigen Mautsystemdaten, sowie die Betrachtung der Datenerfassung in Mautsystemen. Nach einer Analyse bestehender Mautsysteme wird die Umsetzung einer fahrleistungsabhängigen Maut auf einem ausgewählten Streckenabschnitt des niederrangigen Straßennetzes analysiert.

The consequences of steadily increasing traffic are congestion, accidents and negative impacts on the environment. Therefore measures to control the current traffic situation are needed. This diploma thesis deals with the analysis and evaluation of possible electronic toll collection concepts on the low level road network of Austria as one possible measure. The first part of the thesis discusses basics such as telematics, basic toll collection concepts, and the characteristics of different road networks. The following chapters analyse the data requirements and possible data retrieval by means of electronic toll collection systems. A close examination of existing systems is the basis for implementing distance-based toll collection on a selected part of the low-level road network.

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

## **Danksagung**

Ich möchte mich hiermit für die Betreuung bei der Erstellung dieser Diplomarbeit besonders bei Herrn Dr. Reinhard Pfliegl, sowie Herrn Mag. Michael Grill für ihre Unterstützung bedanken. Des Weiteren möchte ich Herrn DI (FH) Christian Spanner für seine wertvollen Anregungen und Hilfestellungen während der Konzeptionsphase dieser Arbeit danken.

Ein großes Dankeschön auch an alle Mitarbeiter der AustriaTech, besonders an Caroline, Martin, und Nadja für eure Geduld, Unterstützung und Aufmunterungen.

Besonderer Dank gilt ebenfalls meinen Eltern, die mir diese Ausbildung ermöglicht, und mich während der gesamten Studienzeit unterstützt haben.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Problem- und Aufgabenstellung.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Einleitung .....</b>	<b>6</b>
2.1. Standpunkt der Europäischen Union zur Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur.....	6
2.2. Wegekostenrichtlinie.....	7
2.3. Ausgangssituation in Österreich.....	8
2.4. Vorgehensweise .....	10
2.5. Ziele der Arbeit .....	10
<b>3. Grundlagen.....</b>	<b>11</b>
3.1. Telematik .....	11
3.2. Maut.....	12
3.3. Bemessungsgrundlagen für Mautgebühren.....	13
3.3.1. Fahrleistungsbezogene Bemessungsgrundlage.....	13
3.3.2. Zeitbezogene Bemessungsgrundlage .....	14
3.3.3. Fahrzeugkategorie/Besetzungsgrad als Bemessungsgrundlage .....	14
3.3.4. Emissionsbezogene Bemessungsgrundlage .....	14
3.3.5. Durchfahrtsbezogene Bemessungsgrundlage.....	15
3.4. Basiskonzepte von Mautsystemen.....	15
3.4.1. Offenes Mautsystem .....	15
3.4.2. Geschlossenes Mautsystem .....	16
3.4.3. Autonomes Mautsystem.....	17
3.5. Methoden zur Einhebung des Benutzungsentgelts .....	18
3.5.1. Manuell .....	19
3.5.2. Single Lane.....	19
3.5.3. Multi Lane .....	19
3.6. Charakterisierung von Straßennetzen.....	19
3.6.1. Legistische Kategorisierung der Straßennetze.....	21
3.6.1.1. <i>Hochrangiges Straßennetz</i> .....	21
3.6.1.2. <i>Niederrangiges Straßennetz</i> .....	21
3.6.2. Funktionale Straßenkategorisierung.....	23
3.6.3. Straßenknotenpunkte.....	25
3.6.4. Straßennetzformen .....	27
3.6.4.1. <i>Vermaschte Netze</i> .....	27
3.6.4.2. <i>Nicht vermaschte Netze</i> .....	27
3.6.5. Querschnittsgestaltung von Straßen .....	28
3.6.6. Straßennetz in Österreich .....	28
3.6.7. Vergleich zwischen hoch- und niederrangigem Straßennetz.....	29
<b>4. Funktionale Analyse elektronischer Mautsysteme.....</b>	<b>31</b>
4.1. Vorgehensweise .....	31
4.2. Funktionale Anforderungen.....	31
4.2.1. Definition externer Einflussfaktoren auf notwendige Mautdaten .....	32

4.2.2. Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Mautsystemfunktionen .....	35
4.3. Datenanalyse .....	36
4.3.1. Registrierung .....	36
4.3.2. Kategorisierung.....	37
4.3.3. Detektion.....	39
4.3.4. Transaktion .....	41
4.3.5. Enforcement .....	41
4.3.6. Abgabeberechnung.....	42
4.3.7. Zusammenfassung .....	42
<b>5. Basistechnologien zur Datenerfassung .....</b>	<b>43</b>
5.1. Verkehrsdatenerfassung .....	43
5.2. Stationäre Erfassungsverfahren.....	44
5.2.1. Induktionsschleifen .....	44
5.2.2. Radarsensoren .....	45
5.2.3. Laserscanner .....	45
5.2.4. Videobildverarbeitung .....	45
5.2.5. DSRC .....	46
5.3. Mobile Erfassungsverfahren - Floating Car Data (FCD) .....	47
5.4. Fahrzeuglokalisierung in elektronischen Mautsystemen.....	47
5.4.1. DSRC Technologien .....	48
5.4.1.1. <i>Radiofrequenztechnologie</i> .....	48
5.4.1.2. <i>Mikrowellentechnologie</i> .....	49
5.4.1.3. <i>Infrarottechnologie</i> .....	49
5.4.2. GNSS/CN Technologie .....	50
5.4.3. Standardisierung der Basistechnologien .....	52
5.4.4. Vergleich der Technologien.....	52
5.4.5. Rechtliche Einschränkungen.....	55
<b>6. Beschreibung ausgewählter elektronischer Mautsysteme.....</b>	<b>56</b>
6.1. LKW-Mautsystem in Österreich.....	56
6.1.1. Aufbau .....	56
6.1.2. Technischer Ablauf des Nutzungsvorgangs .....	56
6.1.3. Kontrolle.....	59
6.2. LKW-Mautsystem in Deutschland .....	60
6.2.1. Aufbau .....	60
6.2.2. Technischer Ablauf des Nutzungsvorgangs .....	61
6.2.2.1. <i>Automatische Erhebung</i> .....	61
6.2.2.2. <i>Manuelle Einbuchung</i> .....	62
6.2.3. Kontrolle.....	62
6.3. Congestion Pricing in London .....	64
6.3.1. Aufbau .....	64
6.3.2. Nutzenvorgang und Kontrolle.....	65
6.4. Elektronisches Road Pricing in Singapur .....	65
6.4.1. Aufbau .....	65
6.4.2. Nutzenvorgang und Kontrolle.....	66
6.5. Interoperabilität von Mautsystemen.....	66
<b>7. Umsetzung einer fahrleistungsabhängigen Maut am nachrangigen Straßennetz ....</b>	<b>69</b>
7.1. Wahl des mautpflichtigen niederrangigen Straßennetzes.....	69

---

7.1.1. Bemannung des gesamten Straßennetzes .....	69
7.1.2. Selektive Auswahl des mautpflichtigen Straßennetzes.....	70
7.1.2.1. Auswahl nach Verkehrsfunktion .....	70
7.1.2.2. Auswahl aufgrund der Verkehrsbelastung.....	71
7.1.3. Zusammenfassung .....	74
7.2. Anforderungen an eine technische Lösung .....	74
7.2.1. Allgemeine Anforderungen.....	75
7.2.2. (Technische) Anforderungen in den Mautsystemfunktionen .....	75
7.2.2.1. Registrierung.....	75
7.2.2.2. Kategorisierung.....	75
7.2.2.3. Detektion.....	75
7.2.2.4. Transaktion .....	77
7.2.2.5. Enforcement.....	77
7.2.2.6. Abgabeberechnung.....	77
7.3. Beurteilung der technischen Umsetzung anhand des Beispiels eines potentiellen Streckenabschnitts der B10 .....	78
7.3.1. Charakterisierung eines potentiellen Mautstreckenabschnitts auf der B10 .....	78
7.3.2. Umsetzung als offenes Mautsystem.....	80
7.3.3. Umsetzung als geschlossenes Mautsystem.....	84
7.3.4. Umsetzung als autonomes Mautsystem.....	85
7.3.5. Wirtschaftliche Betrachtung – Abschätzung von Infrastruktur- und OBU-Kosten .....	87
7.4. Rahmenbedingungen für den Einsatz elektronischer Mautsysteme am niederrangigen Straßennetz .....	90
7.4.1. Organisatorische Rahmenbedingungen .....	90
7.4.2. Legistische Rahmenbedingungen .....	91
7.4.3. Politischer Wille.....	91
<b>8. Diskussion.....</b>	<b>93</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>95</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>96</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>97</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>99</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>105</b>
ANHANG A Expertengespräch mit Hr. DI Dr. Karl Ernst Ambrosch .....	105

# 1. Problem- und Aufgabenstellung

Der Telematikrahmenplan – Rahmenplan für den Einsatz von Telematik im Österreichischen Verkehrssystem – (TLP) des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) definiert Maßnahmen für den Telematikeinsatz<sup>1</sup> im österreichischen Verkehrssystem. Zwei dieser Maßnahmen behandeln die Möglichkeit der Verkehrsbeeinflussung auf dem untergeordneten<sup>2</sup> (niederrangigen) Straßennetz, um die Verkehrsnachfrage und damit Staus, Unfälle und Schadstoffemissionen zu reduzieren. Eine Möglichkeit dies zu erreichen, ist die Einführung einer Straßenbenutzungsgebühr auf dem untergeordneten Straßennetz (TLP 2004).

Die beiden im Telematikrahmenplan beschriebenen Maßnahmen verfolgen das Ziel die Verkehrsinfrastruktur durch eine variable, elektronische, streckenbezogene Straßenbenutzungsgebühr zu bewirtschaften, wobei eine Maßnahme auf den Schwer-, die andere auf den Personenverkehr abzielt (TLP 2004).

Im Jahr 2000 betragen die durch Lastkraftwagen (Lkw) verursachten Infrastrukturkosten 2,29 Mrd. Euro, die durch den Pkw-Verkehr verursachten Kosten lagen bei 2,22Mrd. Euro (Herry 2002, S.200). Der geringere Anteil des Lkw Kfz-Bestands (ca. 26% (Herry 2002)) verursacht etwa die gleichen Infrastrukturkosten wie der gesamte Pkw-Verkehr. Dies zeigt, dass Lkw die betroffene Verkehrsinfrastruktur überdurchschnittlich abnutzen und außerdem Schadstoff- und Lärmemissionen verursachen, die zu externen Kosten<sup>3</sup> führen.

Durch die Einführung einer fahrleistungsabhängigen Benutzungsgebühr auf dem niederrangigen Straßennetz rechnet man aufgrund der erhöhten Kosten für die Nutzer einerseits mit einer besseren Auslastung der Lkw durch einen Rückgang der Leerfahrten, und andererseits wird eine Reduktion der Verkehrsnachfrage erwartet. Durch die Senkung der Nachfrage wird weiters von einer Fahrleistungs-, Stau-, Unfall- und Schadstoff- bzw. Energiereduktion ausgegangen (TLP 2004, S. 59). Außerdem soll die Gebühreneinhebung zu einer Entzerrung des Wettbewerbs zwischen den unterschiedlichen Transportmodi führen, da dadurch ein Teil der Kosten den Verursachern angerechnet wird (Europäische Kommission 2001).

Die Maßnahme des Telematikrahmenplans zur Einhebung einer elektronischen Straßenbenutzungsgebühr für den Personenverkehr soll wie beim Schwerverkehr zur Finanzierung der Straßeninfrastruktur beitragen, wobei hier aber die Beeinflussung der Verkehrsnachfrage im Vordergrund steht. Hierfür müssen nach Ansicht der Experten Konzepte entwickelt werden, wie diese Nachfragesteuerung durch entsprechende Gestaltung der Gebühren durchgeführt werden kann. Die Gebühren können entweder nach räumlicher Ausdehnung oder aufgrund unterschiedlicher Parameter wie Besetzungsgrad, Fahrzeugkategorie, in Abhängigkeit der Zeit oder je Durchfahrt erhoben werden (TLP 2004, S.70).

In der Praxis wurden bereits unterschiedliche elektronische Mautsysteme realisiert, wobei meistens auf die Gebühreneinhebung am hochrangigen<sup>4</sup> Straßennetz abgezielt wird, da hier bei verhältnismäßig geringer Netzlänge eine hohe Verkehrsleistung vergewährt werden kann<sup>5</sup>. In der vorliegenden Arbeit sollen die Vor- und Nachteile bestehender Maut-

---

<sup>1</sup> Telematik ist ein Kunstwort aus den Begriffen Telekommunikation, Automation und Informatik und bezeichnet im Zusammenhang mit Verkehr und Transport die Integration der Komponenten in ein System oder Produkt mit verkehrsrelevanter Funktionalität (TLP 2004, S.3)

<sup>2</sup> Mit dem untergeordneten Straßennetz sind alle Straßen außer Autobahnen und Schnellstraßen gemeint

<sup>3</sup> Externe Kosten werden nicht von Verursachern getragen, die Allgemeinheit muss dafür aufkommen. (Herry 2002, S.195)

<sup>4</sup> Mit dem hochrangigen Straßennetz sind Autobahnen und Schnellstraßen gemeint

<sup>5</sup> In Österreich wurde auf 1,9% des Straßennetzes (Autobahnen und Schnellstraßen) im Jahr 2000 31,4% der Pkw-Fahrleistung erbracht (Kribernegg 2005)

Technologien sowie möglicher Mautsysteme für deren Einsatz auf dem niederrangigen Straßennetz analysiert und bewertet werden. Dabei werden verschiedene Basiskonzepte von Mautsystemen (offene/geschlossene/autonome) für einen möglichen Anwendungsfall betrachtet.

Zur Bewertung der Konzepte für den Einsatz am nachrangigen Straßennetz, werden die allgemeinen Anforderungen an Mautsysteme und die Charakteristika der nachrangigen Straßeninfrastruktur analysiert. In diesem Zusammenhang wird der Aufbau des hochrangigen und des niederrangigen Straßennetzes hinsichtlich ihrer Kategorisierung, der jeweiligen Aufgaben und der Knotenpunktformen betrachtet und außerdem die Datenerfassung von Mautsystemen beleuchtet. Aus diesen Analysen ergeben sich Anforderungskriterien und technische Einschränkungen, die die Basis für eine Beurteilung ausgewählter Mautkonzepte für den Einsatz am niederrangigen Straßennetz bilden.

## 2. Einleitung

In diesem Kapitel werden der Standpunkt der europäischen Union zur Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur, sowie der in diesem Zusammenhang von der europäischen Union beschlossenen Wegekostenrichtlinie zusammengefasst. Weiters wird auf die Ausgangssituation in Österreich, sowie die weitere Vorgehensweise und die Ziele der Arbeit eingegangen.

### 2.1. Standpunkt der Europäischen Union zur Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur

Im Weissbuch zur gemeinsamen Verkehrspolitik der Europäischen Kommission „Die Europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellung für die Zukunft“ wurde festgestellt, dass eine der Hauptursachen der Unausgewogenheit und der Ineffizienz der europäischen Verkehrsinfrastruktur darin liegt, dass den Verkehrsbenutzern nicht alle von ihnen verursachten Kosten angelastet werden. Dies führt weiters dazu dass die Verkehrsnachfrage künstlich erhöht ist (Europäische Kommission 2001, S.83). Deshalb fordert die Europäische Kommission, dass die entstehenden Kosten dem Verkehrsbenutzer direkt angelastet werden. Diese Kosten setzen sich aus zwei Bestandteilen zusammen (Europäische Kommission 2001):

- Investitionskosten: für bessere Verkehrssteuerung, Einführung neuer Züge, Bau neuer Infrastruktureinrichtungen
- gesamtgesellschaftliche Kosten: durch Beseitigung von Staus, Maßnahmen gegen den Treibhauseffekt, Ausbau der Infrastruktur, Steigerung der Sicherheit im Straßenverkehr und im öffentlichen Verkehr und der Verringerung der Umweltbelastung

Der Verkehr gilt generell als hoch und vor allem ungleichmäßig besteuert (Europäische Kommission 2001, S.82). Abgaben wie Zulassungsgebühren, Kraftfahrzeugssteuern, Mineralölsteuern und Gebühren für die Infrastrukturbenutzung sind von jedem Benutzer, unabhängig davon zu leisten, ob dieser die Infrastruktur beansprucht, Staus verursacht, oder Schadstoffe ausstößt. Um eine gerechtere Verteilung der Kosten auf die Verursacher zu erreichen, definiert das Weissbuch der Europäischen Kommission folgendes Ziel (Europäische Kommission 2001, S.84):

„Die Maßnahmen der Gemeinschaft müssen daher darauf abzielen, die derzeit dem Verkehrssystem auferlegten Steuern schrittweise durch Instrumente zu ersetzen, die die Infrastrukturkosten und die externen Kosten am wirksamsten internalisieren<sup>6</sup>.“

Bei den genannten Instrumenten handelt es sich einerseits um die Festlegung von Tarifen für die Nutzung der Infrastruktur, und andererseits um die Kraftstoffbesteuerung. In den Tarifen für die Infrastrukturnutzung werden sowohl die Infrastrukturkosten, als auch die externen Kosten, die durch Unfälle, Luftverschmutzung, Lärmbelästigung und Staus verursacht werden berücksichtigt. Durch eine Kraftstoffbesteuerung soll primär das Ziel verfolgt werden, die Kohlenmonoxidemissionen zu reduzieren. Beide Instrumente müssen aufeinander abgestimmt und koordiniert angewandt werden, wobei auch darauf zu achten ist, dass die Preisstruktur den tatsächlichen Kosten entspricht. Eine Abschätzung der

---

<sup>6</sup> „Im politisch ökonomischen Gebrauch bedeutet Internalisierung die Übernahme von Kosten, Lasten, oder Aufwendungen durch den Verursacher, also von Personen, Regionen oder Gebietskörperschaften, die für einen bestimmten Schaden oder zusätzlichen Aufwand verantwortlich sind.“ (BPB 2006)

externen Kosten und Infrastrukturkosten der Europäischen Kommission für eine LKW-Autobahnfahrt von 100km zeigt die folgende Tabelle.

Externe Kosten und Infrastrukturkosten	Durchschnittliche Spanne [in Euro]
Luftverschmutzung	2,3 - 15,00
Klimaänderung	0,2 - 1,54
Infrastruktur	2,1 - 3,30
Lärm	0,7 - 4,00
Unfälle	0,2 - 2,60
Staus	2,7 - 9,30
Gesamt	8,0 - 36,00

Tabelle 1: Externe Kosten und Infrastrukturkosten einer Lkw-Autobahnfahrt über 100km zu Schwachlastzeiten (Europäische Kommission 2001, S.85)

Nach einer Studie von Hoppe (2004) betragen die gesamten externen Kosten des Verkehrs<sup>7</sup> im Jahr 2000 650 Mrd. Euro, wobei der Straßenverkehr 84% dieser Kosten<sup>8</sup> verursacht, was Maßnahmen für die Internalisierung noch nicht gedeckter Kosten berechtigt.

Bei der Festlegung der Preise ist folgendes zu beachten: Werden die Abgaben durch Anhebung der Tarife zur Nutzung der Infrastruktur oder durch eine Steigerung der Kraftstoffbesteuerung erhöht, so zieht dies eine Reduktion der Verkehrsnachfrage nach sich. Dies bedeutet, dass auch die externen Kosten und die Infrastrukturkosten sinken, bis ein Gleichgewicht zwischen Kosten und Abgaben entsteht. Dieses Gleichgewicht kann nur durch den Einsatz wirksamer und gerechter Tarifierungssysteme erreicht werden. Dabei ist es zusätzlich sinnvoll die Festlegung der Tarife strukturiert einzuführen (Europäische Kommission 2001, S.86):

- Nach Kategorie der Infrastruktur: national, international
- Nach Art der Nutzung der Infrastruktur: Fahrstrecke, Nutzungsdauer
- Nach Fahrzeugart: Umweltbelastung, Fahrzeugmerkmale (Achsenzahl) oder Ladung
- Nach Stauneigung: Tageszeit, Wochentag, Jahreszeit
- Nach Ort: Stadt, Stadtrand, Ballungsgebiet, Land

Im Bereich des Straßengüterverkehrs wurden aufgrund der Verhandlungen über das Verkehrsabkommen der Europäischen Union mit der Schweiz Rahmenbedingungen für Lkw hinsichtlich der Festlegung der Mindestgebühren für Fahrzeuge, Höchstgrenzen für Autobahnbenutzungsgebühren sowie Regeln für die Berechnung der Mautgebühren festgelegt. Diese Rahmenbedingungen wurden in der Richtlinie 1999/62/EG (Wegekosten-Richtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1999 über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge festgehalten und gelten im ganzen EU Raum (Wegekosten-Richtlinie 1999).

## 2.2. Wegekostenrichtlinie

Am 15. 12. 2005 hat das Europäische Parlament eine Revision der Richtlinie 1999/62/EG verabschiedet. Der Vorschlag der Kommission zielt darauf ab, die Unausgeglichenheit und Ineffizienz des Europäischen Verkehrssystems durch eine Änderung des

<sup>7</sup> umfasst Straßen- und Bahnverkehr sowie Luft- und Schifffahrt

<sup>8</sup> Die in der Studie betrachteten externen Kosten setzen sich aus Unfallkosten, Lärmkosten, Kosten für Luftverschmutzung, Kosten der Klimaveränderung, Kosten für Natur und Landschaft und Zusatzkosten in städtischen Regionen zusammen (Hoppe 2004).

Tarifierungsrahmens in Angriff zu nehmen. Dabei sollen den Verkehrsnutzern ihre verursachten Kosten schrittweise angelastet, und in weiterer Folge die Umweltverschmutzung und Staus verringert, und finanzielle Mittel für Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur mobilisiert werden. Durch die Änderungen der Richtlinie wird den Mitgliedstaaten die Möglichkeit gegeben, Maut- und Benutzungsgebühren neben Autobahnen auch auf allen anderen Straßen zu erheben. Außerdem wird die Richtlinie ab 2012 auch für Fahrzeuge mit einem Gewicht über 3,5t gelten, während Sie bisher nur für schwere Nutzfahrzeuge (>12t) gilt. Die Regelungen für die mögliche Variation der Mautgebühren wurde ebenfalls erweitert, um Umweltfreundlichkeit der Fahrzeuge und den Überlastungsgrad von Straßen besser berücksichtigen zu können. Die Verwendung der eingehobenen Mautgebühren wird dabei in Artikel 9 Absatz 2 folgendermaßen geregelt (Wortmann-Kool 2005):

„Die Mitgliedstaaten entscheiden über die Verwendung der Einnahmen aus Gebühren für die Nutzung der Straßeninfrastruktur. Um den Ausbau des Verkehrsnetzes als Ganzes sicherzustellen, sollten die Einnahmen aus Gebühren zum Nutzen des Verkehrssektors und zur Optimierung des Gesamtverkehrssystems eingesetzt werden.“

Das heißt, dass den Mitgliedstaaten die Art der Nutzung der Einnahmen grundsätzlich freigestellt ist. Für die Erhebung von Mautaufschlägen<sup>9</sup> für besondere Streckenabschnitte ist jedoch eine zweckgebundene Verwendung für alternative Verkehrsinfrastrukturen Pflicht (Pressestelle der Europäischen Kommission 2005).

In Artikel 7 Absatz 5 der Wegekosten-Richtlinie wird gefordert, die Maut- und Benutzungsgebühren so zu erheben und einzuführen, dass der Verkehrsfluss möglichst wenig beeinträchtigt wird. Das heißt, dass eine Gebührenerhebung durch automatisierte Mautsysteme erfolgen soll, um den homogenen Verkehrsfluss nicht zu stören (durch Anhalten, Bremsen, Spurwechsel) (Wegekosten-Richtlinie 1999).

### 2.3. Ausgangssituation in Österreich

Österreich ist mit einem ständig steigenden Verkehrsaufkommen konfrontiert. Die folgende Abbildung zeigt, dass sich der Personen- wie auch der Güterverkehr seit 1980 etwa verdoppelt hat (Umweltbundesamt 2003).

---

<sup>9</sup> sind Aufschläge auf die zu entrichtende Mautgebühr

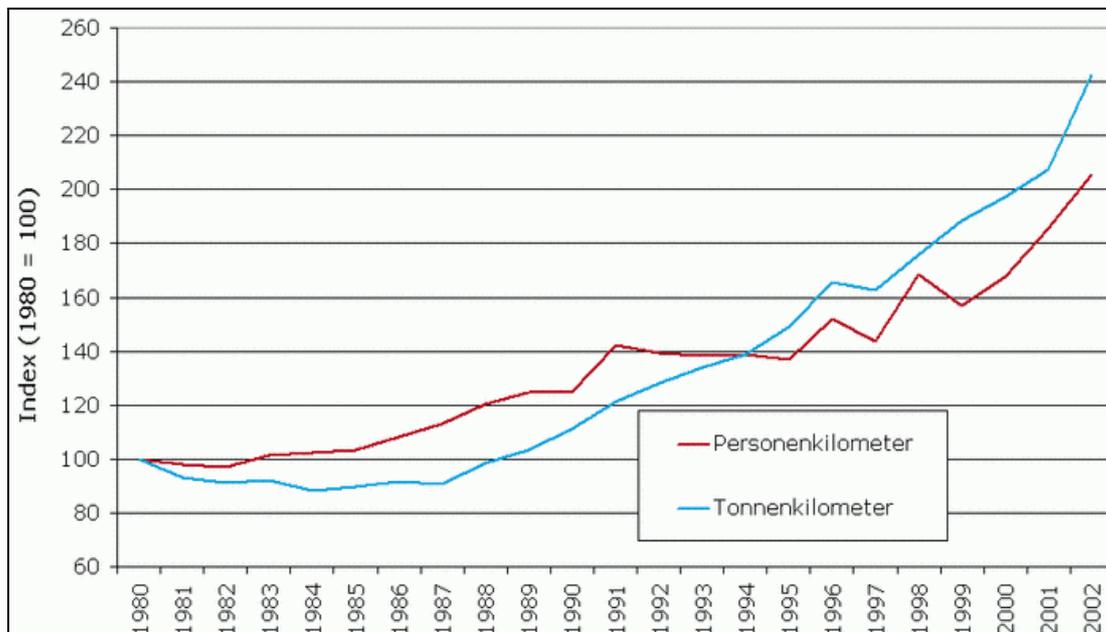


Abb. 1: Entwicklung des Personen und Güterverkehrs auf der Straße (PKW und LKW) in Österreich (Umweltbundesamt 2003)<sup>10</sup>

Aufgrund der fehlenden Signalwirkung eines verursacherorientierten Preises für die Nutzung der Straßeninfrastruktur, kommt es zu einer erhöhten Nutzung der Verkehrsinfrastruktur und somit zu steigenden externen Kosten (Stau-, Unfall-, Umwelt und Lärmkosten) (Laimer 2005). Die europäische Union zielt darauf ab, den Verursachern diese Kosten anzulasten, was in Österreich derzeit nur am hochrangigen Autobahnen- und Schnellstraßennetz, einerseits durch die Vignettenpflicht für Personenkraftwagen (Pkw) und Motorräder, andererseits durch die Einführung der fahrleistungsabhängigen Lkw-Maut erfolgt. Hierbei ist anzumerken, dass es sich bei der Vignettenpflicht für Pkw und Motorräder um eine rein zeitabhängige Mautabgabe handelt, also keine verursachergerechte Anlastung der externen Kosten durchgeführt wird. Dabei wird für einen bestimmten Zeitraum, unabhängig von der tatsächlich erbrachten Fahrleistung (somit unabhängig von den tatsächlich verursachten Kosten), eine Nutzungsgebühr eingehoben

Die Höhe der LKW-Maut richtet sich dabei nach der gültigen EU-Wegekostenrichtlinie 1999/62/EG welche vorschreibt, dass sich die Benutzungsgebühr an dem gewogenen Durchschnitt der Kosten für Bau, den Betrieb und den Ausbau des betreffenden Verkehrsnetzes zu orientieren hat<sup>11</sup>.

Die Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft ASFINAG hat durch das ASFINAG-Ermächtigungsgesetz 1997 (BGBl. I Nr. 113/1997) und den mit der Republik Österreich geschlossenen Fruchtungsgenussvertrag das Fruchtgenussrecht. Dies erlaubt die Einhebung von Maut- und Benutzungsgebühren am hochrangigen Straßennetz und die Verwendung der daraus resultierenden Einnahmen zur Finanzierung (von Bau und Erhaltung) des Verkehrsnetzes (ASFINAG 2006b).

Neben dem hochrangigen Straßennetz ist in Zukunft auch die Betrachtung des niederrangigen Straßennetzes in Hinblick auf eine flexible elektronische Gebühreneinhebung interessant, besonders deshalb, weil durch die Änderungen der EU-Wegekostenrichtlinie eine Mauterhebung auf allen Straßen, somit auch auf dem niederrangigen Straßennetz erlaubt ist.

<sup>10</sup> Grundlage für die Berechnung ist die national verkaufte Treibstoffmenge

<sup>11</sup> Für Straßen die vor Einführung der Wegekostenrichtlinie gebaut wurden, dürfen nur Erhaltungs- und Ausbaukosten herangezogen werden.

## 2.4. Vorgehensweise

Ausgehend von einer Beschreibung der Grundlagen von Mautsystemen werden die Bemessungsgrundlagen<sup>12</sup>, Basiskonzepte für den Aufbau von Mautsystemen und Methoden zur Einhebung des Benutzungsentgelts erläutert.

Danach folgt eine Charakterisierung von Straßennetzen, um den Aufbau des niederrangigen und hochrangigen Straßennetzes zu analysieren, und somit die beiden Netze besser differenzieren zu können. Dies ist für die später folgende Betrachtung möglicher Mautkonzepte und Mauttechnologien relevant.

Es folgt eine Analyse der Funktionen, die für ein Gebühreneinhebungssystem benötigt werden. Hier werden die für die einzelnen Mautsystem-Funktionen notwendigen Daten herausgearbeitet.

Diese Daten sind durch ein modernes Mautsystem vollautomatisch zu erfassen, weshalb die Datenerfassungstechnologien genauer erläutert werden. Dabei wird nur die Datenerfassung für jene Funktionen betrachtet, die von der Straßeninfrastruktur abhängig sind. Es folgt eine Beschreibung ausgewählter existierender Mautsysteme, um die derzeitige Umsetzung der Systemfunktionen in unterschiedlichen Straßeninfrastrukturen zu erklären.

Abschließend erfolgt eine Diskussion über die Umsetzung möglicher Mautkonzepte am niederrangigen Straßennetz. Es werden Szenarien für eine Streckenauswahl am niederrangigen Straßennetz beschrieben und Anforderungen an die technische Lösung erörtert. Anhand eines potentiellen Streckenabschnitts werden die Vor- und Nachteile der Umsetzung der Basiskonzepte von Mautsystemen (Basismautkonzepte) analysiert, sowie organisatorische, logistische und politische Rahmenbedingungen betrachtet.

## 2.5. Ziele der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, unterschiedliche Mautkonzepte hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit und der möglichen Umsetzung auf dem nachrangigen Straßennetz in Österreich zu analysieren. Dabei werden allgemein die unterschiedlichen technischen Möglichkeiten für die Datenerfassung erklärt, und deren aktueller Einsatz in Mautsystemen betrachtet. Weiters wird die Straßeninfrastruktur des niederrangigen Netzes analysiert, um Unterschiede zum hochrangigen Straßennetz herauszuarbeiten. Es soll gezeigt werden, welche Datenerfassungstechnologien für bestimmte Mautkonzepte am niederrangigen Straßennetz geeignet sind, oder ob einzelne Mautkonzepte auf diesem Netz überhaupt realisiert werden können.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf automatischen, elektronischen Mautsystemen, die den Anforderungen der EU in Form der Wegekostenrichtlinie genügen. Manuelle Mautsysteme, werden in dieser Arbeit nicht näher betrachtet, bei automatischen (elektronischen) Mautsystemen liegt der Schwerpunkt auf bestehenden Technologien.

Durch die Erkenntnisse dieser Arbeit sollen die Betreiber von Mautsystemen im Entscheidungsprozess bei Auswahl und Planung von Mautsystemen am niederrangigen Straßennetz unterstützt werden.

---

<sup>12</sup> Bemessungsgrundlagen stellen mögliche Kennwerte dar, auf deren Basis eine Gebührenerhebung erfolgen kann (z.B. Zeit, Fahrleistung, Emissionen etc.)

### 3. Grundlagen

In den folgenden Kapiteln werden die für das Verständnis dieser Arbeit notwendigen Grundlagen erläutert. Dies umfasst die Erklärung der notwendigen Begriffe für Mautsysteme, sowie die Beschreibung der grundlegenden Systemkonzepte. Außerdem wird auf die Charakterisierung von Straßennetzen eingegangen, um auf die besonderen Eigenschaften des niederrangigen Straßennetzes eingehen, und die Unterschiede zum hochrangigen Straßennetz herausarbeiten zu können.

#### 3.1. Telematik

Telematik ist ein Kunstwort aus den Begriffen Telekommunikation, Automation und Informatik und bezeichnet im Zusammenhang mit Verkehr und Transport die Integration der Komponenten in ein System oder Produkt mit verkehrsrelevanter Funktionalität (TLP 2004, S.3):

- **Telekommunikation:** Die Telekommunikation erfüllt dabei die Aufgabe der Übertragung von Daten zwischen zwei oder mehreren mobilen und/oder ortsfesten Einrichtungen in der dazu erforderlichen Bandbreite. Mögliche Technologien die für die Kommunikation in Frage kommen sind Mikrowelle, Infrarot, GSM, WLAN, etc.
- **Automation:** Die Aufgabe der Automation ist die Erfassung von Daten und Parametern – wie z.B. Position, Temperatur, Feuchtigkeit oder Beschleunigung – mit Hilfe von Sensoren mit digitaler Wertausgabe.
- **Informatik:** Die Informatik übernimmt die Aufgabe der Verarbeitung der (durch Automation) erfassten und (durch Telekommunikation) übertragenen Daten, um diese in geeigneter, weiterverarbeitbarer Form darzustellen.

Die besondere Leistungsfähigkeit der Telematik liegt in der Vernetzung der Komponenten, wodurch sich eine Vielzahl möglicher Einsatzbereiche ergibt. Die folgende Abbildung zeigt die Vernetzung der Komponenten in Bezug auf Fahrzeug und umgebende Infrastruktur.

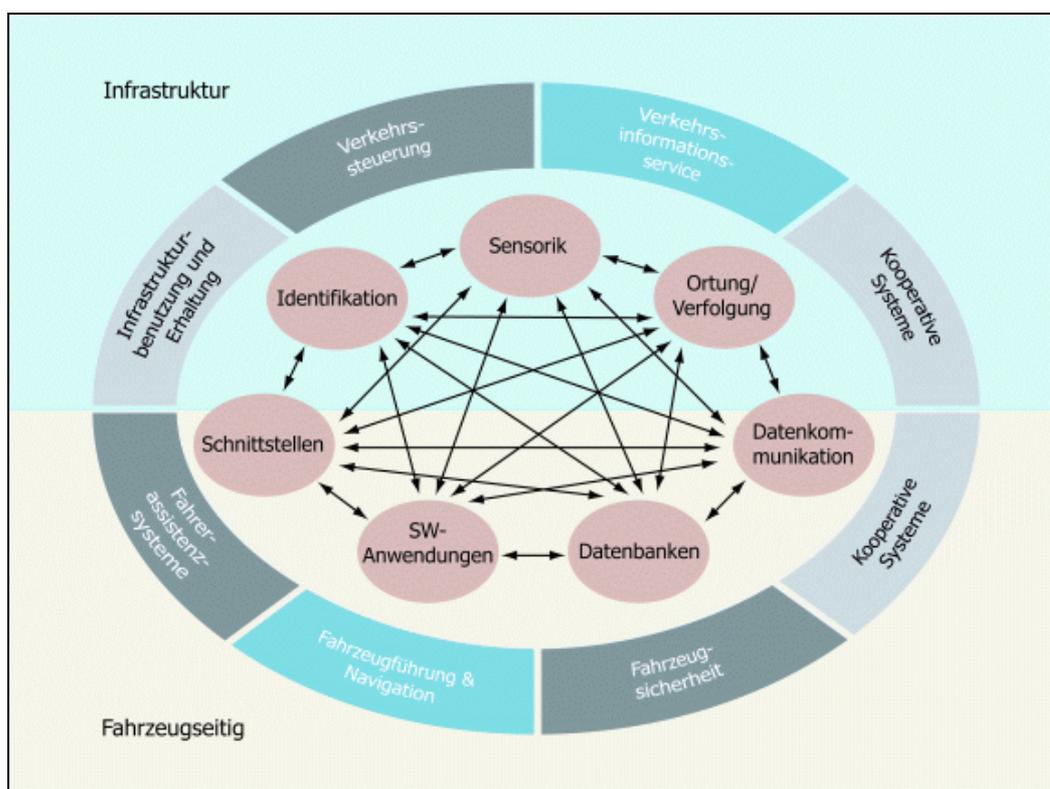


Abb. 2: Vernetzung von Verkehrstelematik-Komponenten (TLP 2004, S.3)

### 3.2. Maut

Der Begriff Maut ist ein aus dem gotischen Wort „mota“ abgeleiteter Name für Zoll (Abgabe) und beschreibt das Einheben einer Gebühr für die Nutzung von Bauwerken, wie Straßen, Brücken, Tunneln oder Autobahnen. Schon im 11. Jahrhundert wurden in Europa Mautgebühren verlangt, um die Finanzierung von Straßen sicherzustellen (Wikipedia 2006). Heutzutage wird der Begriff „Maut“ immer mehr durch den Begriff „Straßenbenutzungsgebühr“ ersetzt, in neuer Literatur ist oft von „Road Pricing“ die Rede. „Road Pricing“ bezeichnet die Einhebung von raumbezogenen Straßenbenutzungsgebühren, wobei besonderes Augenmerk darauf gelegt wird, dass der Verursacher die vollen Kosten der Straßenbenutzung zu tragen hat (Steinger, Gobiet 2005).

Die folgende Tabelle zeigt auszugsweise die Begriffe die sich in den unterschiedlichen Ländern für die Einhebung einer Straßenbenutzungsgebühr eingebürgert haben.

Land	Begriff
Österreich	LKW-Maut, Vignettenpflicht
Deutschland	LKW-Maut, PKW-Maut
Großbritannien	Congestion Pricing (in London), Lorry Road User Charging (RUC)
Singapur	Electronic Road Pricing (ERP)
Schweiz	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA), Distance-related Heavy Vehicle Fee
Norwegen	Electronic Fee Collection (EFC - in Trondheim)

Tabelle 2: Eingebürgerte Begriffe für Mautsysteme

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden nur die beiden Begriffe „Maut“ und „Road Pricing“ synonym für die Einhebung einer Straßenbenutzungsgebühr verwendet.

### 3.3. Bemessungsgrundlagen für Mautgebühren

Das Bundesstraßen-Mautgesetz 2002 definiert im §2 die Arten der Mauterhebung in Österreich. Demnach ist laut Gesetz derzeit die Einhebung einer Maut entweder auf Basis der zurückgelegten Strecke, als fahrleistungsabhängige Maut, oder für bestimmte Strecken als zeitabhängige Maut möglich (Bundesstraßen-Mautgesetz 2002). Auch wenn der derzeit gültige Gesetzestext nur diese beiden Bemessungsformen vorsieht, so kann die Bemessung auch in Abhängigkeit des Fahrzeugbesetzungsgrades, der Fahrzeugkategorie oder auch je Durchfahrt erfolgen (TLP 2004, S.70). Neben diesen eben genannten Bemessungsformen sieht eine neue Studie (Steininger, Gobiet 2005, S.61) auch noch emissionsbezogene Bemessung als potentielle Möglichkeit in Betracht. In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Bemessungsformen näher erläutert. Zur Veranschaulichung wurden die unterschiedlichen Bemessungsarten in folgender Grafik hierarchisch dargestellt.

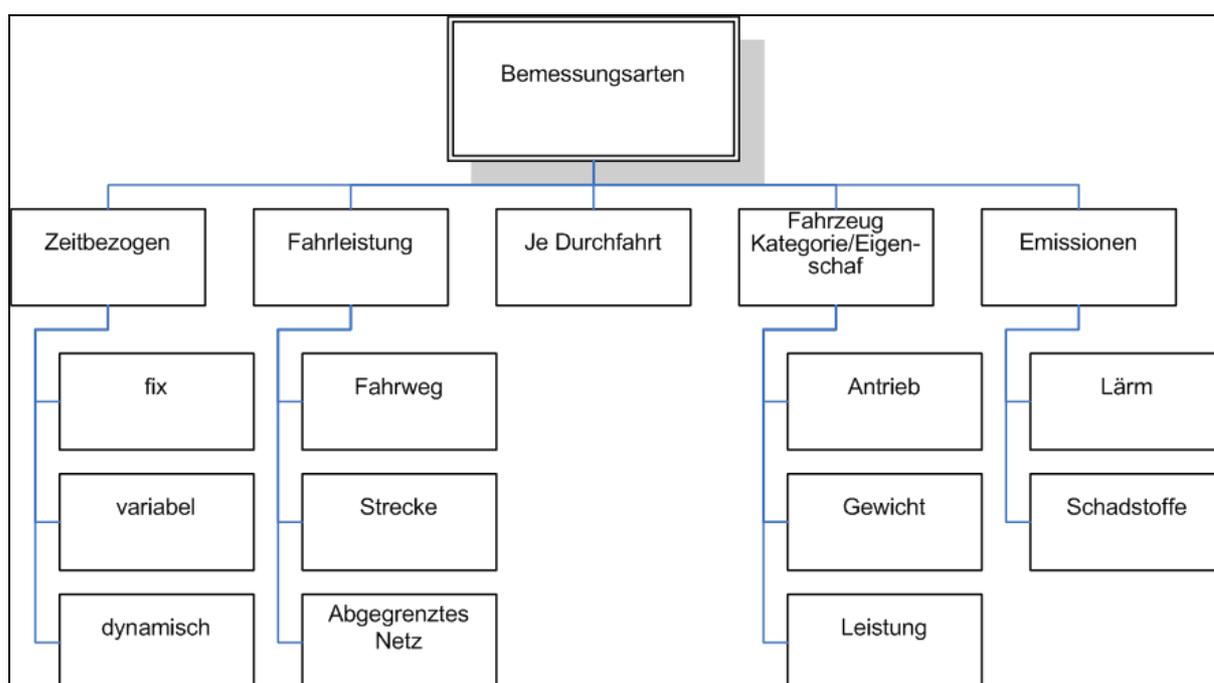


Abb. 3: Darstellung der unterschiedlichen Bemessungsarten (eigene Darstellung)

#### 3.3.1. Fahrleistungsbezogene Bemessungsgrundlage

Für die fahrleistungsbezogene Gebühreneinhebung gibt es 3 unterschiedliche Formen in Bezug auf die räumliche Abgrenzung (Steininger, Gobiet 2005, S.60):

- **Fahrwegabhängig** – Länge des Fahrweges in einem Netz: Das entscheidende Kriterium für die Benutzungsgebühr ist die zurückgelegte Strecke, je mehr Kilometer zurückgelegt werden, desto höher wird die Gebühr. Meist ist diese Gebühr noch von einem zweiten Faktor, wie der Fahrzeugkategorie abhängig.
- **Streckenabhängig** – Länge des Fahrweges auf ausgewählten Strecken (Teilen des Netzes): In diesem Fall ist die Anzahl der Durch- und Überfahrten von Strecken wie Brücken und Tunnels das Maß für die Abgabenhöhe.
- **Abgegrenzter Raum oder abgegrenztes Straßennetz**: Die Anzahl der Ein- oder Durchfahrten legt die Gebührenhöhe fest. Diese Form der Bemessung wird im Unterkapitel 3.3.5 noch näher erläutert.

### 3.3.2. Zeitbezogene Bemessungsgrundlage

Bei der zeitbezogenen Bemessung lassen sich grundsätzlich drei Arten hinsichtlich der Wahl des Zeitraums unterscheiden (Steininger, Gobiet 2005, S.60):

- Fixer Bemessungszeitraum: Hierbei wird ein fixer Zeitraum definiert in dem eine Maut eingehoben wird. Beispielsweise kann für bestimmte Tageszeiten oder bestimmte Tage eine Maut eingehoben werden.
- Variabler Bemessungszeitraum: In diesem Fall dient die Verweildauer auf einer Strecke als Basis für die Höhe der Mautgebühr. Je länger eine Straße benutzt wird, umso höher wird die Nutzungsgebühr.
- Dynamischer Bemessungszeitraum: Hier gilt ebenfalls die Verweildauer, jedoch in Abhängigkeit mit einer weiteren Bemessungsgröße, als Vergebüherungsgrundlage. Es besteht dadurch die Möglichkeit die Gebühr je Zeiteinheit aufgrund der aktuellen Verkehrsdichte zu erhöhen oder zu senken.

### 3.3.3. Fahrzeugkategorie/Besetzungsgrad als Bemessungsgrundlage

Die Straßengebührenerhebung kann auch auf Basis einzelner Fahrzeugeigenschaften, oder der Fahrzeugkategorie, die die Summe von verschiedenen Fahrzeugeigenschaften darstellt, erfolgen. Mögliche Eigenschaften als Bemessungsgrundlage sind (Steininger, Gobiet 2005, S.61):

- Motorleistung: Abstufung der Leistungsklassen nach der maximalen Kilowattleistung [kW]
- Gewicht: Abstufung der Gewichtsklassen nach dem höchst zulässigen Gesamtgewicht [kg]
- Antriebsart: Einstufung nach Art des Antriebs (Benzin, Diesel, Hybrid, Brennstoffzelle)
- Achszahl: Die Anzahl der Achsen eines LKW.

Will man sich bei der Bemessung nicht auf eine einzige Fahrzeugeigenschaft wie Leistung oder Gewicht beschränken, besteht die Möglichkeit mehrere Eigenschaften zu gewichten und zusammenzufassen um dies dann als Richtwert für die Vergebüherung anzuwenden. Diese Maßzahl stellt im Prinzip die Fahrzeugkategorie dar.

Eine weitere Option Road Pricing umzusetzen, ist die Gebührenerhebung auf Basis des Besetzungsgrades. Die Anzahl der im Fahrzeug sitzenden Personen definiert demnach die Höhe der Gebühren (z.B. je mehr Insassen umso günstiger) (Steininger, Gobiet 2005, S.61).

### 3.3.4. Emissionsbezogene Bemessungsgrundlage

Emissionen, die als Grundlage zur Bemessung der Straßenbenutzungsgebühr in Frage kommen, sind Lärmemissionen und Schadstoffemissionen. Bei Lärmemissionen kann die Höhe des Dauerschallpegels [DB(A)] zur Preisfestlegung herangezogen werden. Beispielsweise kann auf einer Straße je nach Höhe des Schallpegels, der sich z.B. aus der Verkehrsdichte oder dem Anteil des Schwerverkehrs ergibt, die einzuhebende Mautgebühr angehoben oder gesenkt werden. Bei Schadstoffemissionen kann die Bemessung auf zwei Arten erfolgen (Steininger, Gobiet 2005, S.61):

- Emissionsrate nach Fahrweglänge und Fahrzeugkategorie
- Emission je Energieaufwand: Die Höhe der Emission wird in Gewichtseinheiten [kg] pro Motorleistung, multipliziert mit der Betriebsdauer angegeben [KWh]. Ein Beispiel dafür ist die NO<sub>x</sub>-Emission in g/KWh.

### 3.3.5. Durchfahrtsbezogene Bemessungsgrundlage

Das Vergebührungskriterium ist die Häufigkeit der Benutzung, also die Anzahl der Ein- oder Durchfahrten einer bemauteuten Strecke ohne Rücksicht auf Streckenlänge, Verweildauer oder andere Kriterien. Diese Form der Gebühreneinhebung findet beispielsweise bei Gebirgspässen Anwendung.

## 3.4. Basiskonzepte von Mautsystemen

Es gibt unterschiedliche Systemansätze für Mautsysteme, die sich dadurch unterscheiden, ob für die Lokalisierung eines Fahrzeugs straßenseitig Infrastruktur benötigt wird oder nicht. Findet straßenseitige Infrastruktur Anwendung, so unterscheidet man noch weiter zwischen offenen und geschlossenen Mautsystemen. Mautsysteme die (fast<sup>13</sup>) ohne straßenseitige Infrastruktur betrieben werden können, bezeichnet man als autonome Mautsysteme. Die einzelnen Systeme werden in den folgenden Kapiteln genauer erläutert. Basis hierfür bilden eine neue Studie über die Technologien und Wirkungen von Pkw-Road-Pricing im Vergleich (Steininger, Gobiet 2005, S. 89) und ein Bericht über elektronische Mautsysteme (Wieden 2001).

### 3.4.1. Offenes Mautsystem

Bei offenen Mautsystemen erfolgt die Lokalisierung der Fahrzeuge punktuell, wobei zwischen Beginn und Ende des mautpflichtigen Streckenabschnitts eine Mautstation oder eine andere Gebührenerfassungseinheit steht. Beispiele für die Anwendung eines offenen Mautsystems sind demnach (Steininger, Gobiet 2005, S. 89):

- Einzelne Netzteile: Brücken oder Tunnels
- Ein Netzabschnitt: ein Streckenabschnitt zwischen zwei Knoten
- Ein gesamtes Straßennetz: hierbei wird das Straßennetz in einzelne gebührenpflichtige Abschnitte unterteilt. Ein Beispiel hierfür ist das österreichische LKW-Mautsystem.

Die folgende Grafik soll zeigen wie ein offenes Mautsystem prinzipiell auf einer Autobahn aufgebaut sein kann. In diesem System werden bei jeder Mautstelle relevante Daten erfasst. Dies kann über eine Kommunikation mit einem im Fahrzeug befindlichen Gerät erfolgen. Diese Fahrzeugeinheit wird üblicherweise on-board unit (OBU) genannt.

---

<sup>13</sup> Fast deshalb, weil in einem Mautsystem auch eine Überwachung durchgeführt werden muss, was aber ohne Infrastruktur nicht bewerkstelligt werden kann.

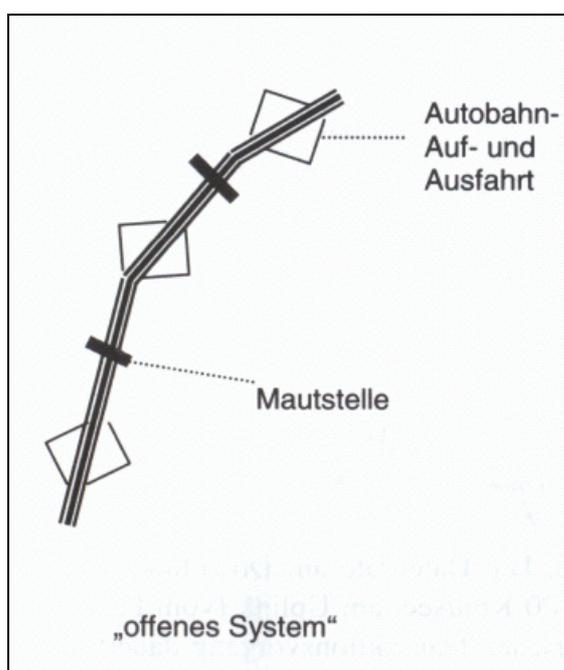


Abb. 4: Konzept des Offenen Mautsystems (Wieden 2001)

Da die Mautstellen immer zwischen Auf- und Ausfahrten im mautpflichtigen System positioniert werden, ergibt sich der Vorteil, dass bei einem Ausfall einer Mautstelle nur für diesen Streckenabschnitt keine Mautgebühren eingehoben werden können. Außerdem sind in diesem System wesentlich weniger Mautstellen zu errichten, als bei einem, im folgenden Kapitel beschriebenen, geschlossenem Mautsystem.

### 3.4.2. Geschlossenes Mautsystem

Bei geschlossenen Mautsystemen erfolgt die Lokalisierung der Fahrzeuge, ebenso wie bei offenen Mautsystemen punktuell, wobei an jeder Ein- und Ausfahrt des gebührenpflichtigen Straßennetzes eine Mautstation oder andere Erfassungseinheit angebracht wird. Beispiele für den Einsatz von geschlossenen Mautsystemen sind demzufolge (Steininger, Gobiet 2005, S. 89):

- Bestimmte Straßennetze oder Netzteile: z.B. alle Autobahnen eines Gebietes wie in Italien
- Zonen oder Kordone: Hier wird ein Mautsystem für eine definierte Zone oder ein ringförmig abgesperrtes Gebiet (=Kordon) errichtet: z.B. Stadtkerngebiet oder Zentralraum einer Stadt wie es dies in London, Trondheim, Singapur oder Oslo bereits gibt.

Die folgende Grafik soll den prinzipiellen Aufbau eines geschlossenen Mautsystems für ein Autobahnnetz zeigen.

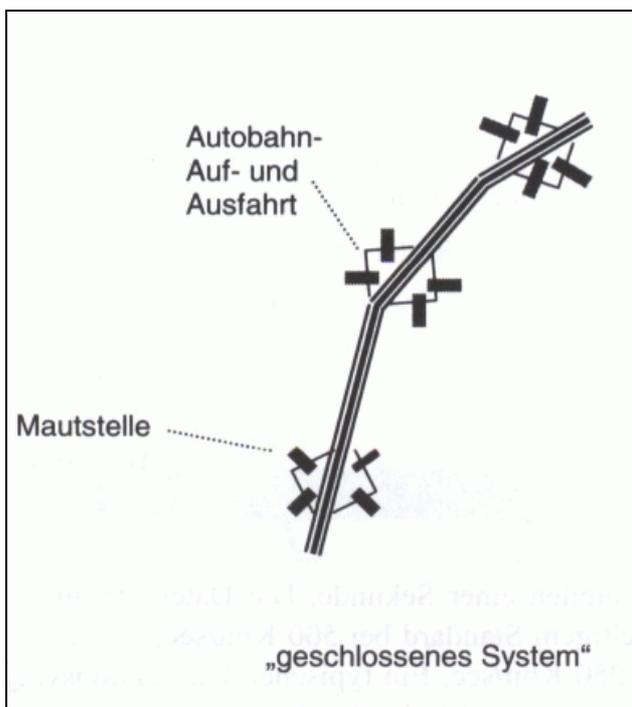


Abb. 5: Konzept eines geschlossenen Mautsystems (Wieden 2001)

Bei dem in der obigen Abbildung dargestellten Mautsystem ist der Ausfall einer Mautstelle wesentlich kritischer als beim offenen System. Funktioniert beispielsweise eine Ausfahrtsmautbake nicht, verliert der Betreiber alle Mautgebühren der Fahrzeuge, die an dieser Stelle das Mautsystem verlassen unabhängig davon, wie lange ein Fahrzeug bereits die mautpflichtige Strecke benutzt. Problematisch ist auch der Ausfall einer Mautbake bei einer Auffahrt in das Mautsystem, denn hierbei kann nicht mehr nachvollzogen werden wo das Fahrzeug in die bemaute Zone gefahren ist, was eine korrekte Verrechnung unmöglich macht (Wieden 2001, S.149).

Eine zweite Variante der Umsetzung geschlossener Systeme stellt die Festlegung von Mautzonen dar, wobei diese Zone durch festgelegte Mautstellen betreten und verlassen werden kann. Hierbei wird für die Benutzung eines bestimmten Areals eine Gebühr erhoben, wobei diese Abgabe meist unabhängig vom zurückgelegten Weg im System erfolgt.

### 3.4.3. Autonomes Mautsystem

Bei autonomen Mautsystemen erfolgt die Lokalisierung der Fahrzeuge satellitengestützt, also im Gegensatz zu offenen und geschlossenen Mautsystemen, ohne straßenseitige Infrastruktur. Hier kann grundsätzlich für ein beliebiges Gebiet eine Mautzone errichtet werden, diese Mautzone kann auch ohne straßenseitige Infrastrukturmaßnahmen erweitert werden, was einen Vorteil des Systems darstellt. Nachteilig ist hier anzumerken, dass für die Kontrolle von Fahrzeugen trotzdem Infrastruktur, oder verstärkter Personalaufwand notwendig ist. Beispiele für den möglichen Einsatz eines autonomen Mautsystems sind (Steinger, Gobiet 2005, S. 90):

- Große Straßennetze, wie z.B. das hochrangige Straßennetz in Deutschland
- Zonen und/oder Regionen, also alle Straßen in einem bestimmten Gebiet (z.B.: Region in einer Großstadt)

Die folgende Grafik zeigt den prinzipiellen Aufbau eines satellitengestützten Systems, wobei auch zusätzlich die Infrastruktur zur Überwachung gezeigt wird.

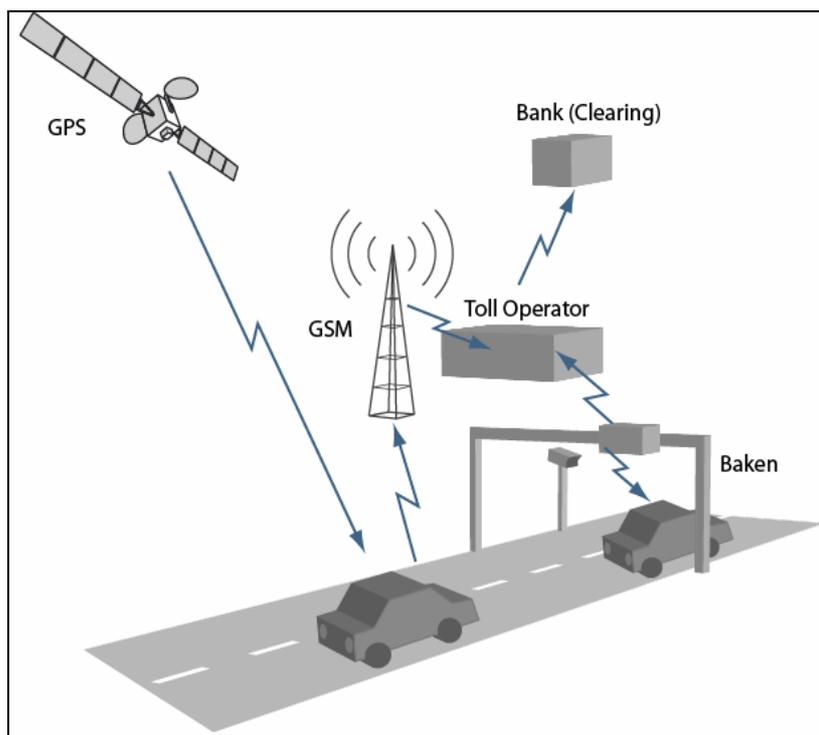


Abb. 6: Prinzipieller Aufbau eines autonomen Mautsystems mit Überwachungsbalken (Hirschmann 2005)

In der oben dargestellten Abbildung eines autonomen Mautsystems basiert die Lokalisierung auf dem Global Positioning System (GPS). Eine Fahrzeugeinheit übernimmt die Berechnung der fälligen Gebühren und übermittelt diese Daten über GSM an den Mautbetreiber, der die Verrechnung vornimmt. An fixen Punkten des Straßennetzes werden Mautbaken angebracht, um zusätzlich eine automatische Überwachung der mautpflichtigen Verkehrsteilnehmer durchführen zu können.

### 3.5. Methoden zur Einhebung des Benutzungsentgelts

Die zuvor diskutierten Mautkonzepte benötigen Erhebungssysteme, um den Nutzern eine Abgabeneistung zu ermöglichen. Die Art der Erhebung hat sich in den letzten Jahren stark weiterentwickelt und für den Aufbau der Mautstationen stehen folgende Varianten zur Verfügung (Sutter et al. 2006):

- Mautstation mit Zahlschalter zur manuellen Abgabeneistung auf Einzelspuren
- Mautstation mit Münzautomaten auf Einzelspuren
- Mautstation mit Kartenautomaten (Kredit- und Debitkarten, Karten mit Elektronischer Geldbörse)
- Elektronische Gebühreneinhebung auf Einzelspuren mit Barriere (EFC, Electronic Fee Collection)
- Elektronische Gebühreneinhebung über mehrere Spuren ohne Barriere (Multi Lane EFC)

### 3.5.1. Manuell

Die Fahrzeuge werden in einzelne Fahrspuren geleitet, an denen die Lenker manuell die Mautgebühren zu entrichten haben. Dabei muss das Fahrzeug angehalten werden, was bei hoher Verkehrsbelastung zu Staus führen kann. Diese Systeme werden immer öfter durch vollelektronische Mautstellen ersetzt.

### 3.5.2. Single Lane

Hier werden wie bei manuellen Mautstationen alle Fahrzeuge in abgegrenzte Fahrspuren gelenkt. Die Fahrzeuge werden hierbei nicht angehalten, sondern die Gebühreneinhebung erfolgt über eine DSRC Kommunikation (Dedicated Short Range Communication, siehe Kapitel 5.2.5) zwischen straßenseitiger Ausrüstung und Fahrzeugeinheit des Fahrzeugs. Die Einhebung der Gebühren ist für den Benutzer wesentlich komfortabler und mögliche Stausituationen werden durch den höheren Fahrzeugdurchsatz reduziert. (Kapsch 2006b). Neben der DSRC Kommunikation besteht auch die Möglichkeit, Fahrzeuge mittels Videobildverarbeitung (siehe Kapitel 5.2.4) zu erfassen.

### 3.5.3. Multi Lane

In diesem System werden die Mautstationen so aufgebaut, dass es zu keinen verkehrsbedingten Einschränkungen kommt. Die Fahrzeuglenker müssen dabei weder ihre Geschwindigkeit reduzieren, noch eine vorgegebene Fahrspur benutzen. Hierbei werden Überkopfbrücken errichtet, an denen Antennen für eine Kommunikation mit vorbeifahrenden Fahrzeugen angebracht werden. Diese Systeme werden auch Multi Lane Free Flow Systeme genannt, und es ermöglicht einen maximalen Verkehrsdurchsatz (Kapsch 2006c).

## 3.6. Charakterisierung von Straßennetzen

Zur weiteren Bestimmung der Anforderungen an Mautsysteme am niederrangigen Straßennetz ist eine allgemeine Betrachtung von Straßennetzen erforderlich. Verschiedene Straßennetze erfüllen einen unterschiedlichen Zweck, woraus sich auch die Differenzierung zwischen hochrangigem und untergeordnetem Straßennetz ableiten lässt. Die folgenden Kapitel sollen die Unterscheidung der Netzarten erläutern.

Die folgenden Grundlagen zu Straßennetzen basieren auf einem Buch über Straßenbau (Weise, Durth 1997) sowie einem Buch über Grundlagen der Verkehrsplanung (Cerwenka et al. 2003), sowie weiteren Quellen die im Text zitiert werden.

Das Straßennetz ist ein Teil der Verkehrsinfrastruktur und dient als Träger für den

- motorisierten Individualverkehr,
- nichtmotorisierten Individualverkehr,
- den straßengebundenen öffentlichen Verkehr (Weise, Durth 1997, S.52).

Das Straßennetz, wie auch alle anderen Infrastrukturnetze (Schiene, Wasserwege, Kabel, Rohrleitungen), bestehen aus folgenden 3 Elementen (Weise, Durth 1997, S.53):

- Strecken
- Knotenpunkte
- Übergänge

Strecken ermöglichen die Verbindung von 2 bestimmten Punkten miteinander. Knotenpunkte verbinden mindestens 2 Strecken miteinander, und Übergänge ermöglichen den Wechsel zwischen Netzen, oder den Zu- und Abgang nach außen.

Der Ausbau des Netzes und der Netzelemente hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dabei sind vor allem der darauf vorgesehene Betrieb und die für das Netz zugelassenen Benutzer relevant. Die Strecken- und Knotenelemente werden durch den Straßenbau so konzipiert, dass ihnen eine eindeutige Funktion zugeordnet werden kann, um die Nutzer zu einem verkehrsgerechten Verhalten zu bewegen. Der Ausbau der Knotenpunkte richtet sich dabei vor allem nach den angeschlossenen Strecken. Hinsichtlich der Netzbildung werden im Straßenbau folgende Prinzipien beachtet (Weise, Durth 1997, S.53):

- Bündelung und Kanalisierung der Verkehrsströme
- Hierarchische Strukturierung
- Funktions- und qualitätsgerechter Ausbau der Strecken und Knotenpunkte

Straßennetze können dabei nach

- dem Raumbezug : international, national, überregional, lokal
- der Funktion oder Aufgabe: aufhalten, erschließen, sammeln, verbinden, durchleiten

gegliedert werden. Daraus ergibt sich, dass einzelne Teile des Straßennetzes unterschiedlichen Anforderungen genügen. Die möglichen Anforderungskriterien für Netze sind in folgender Tabelle dargestellt.

Anforderungskriterien	Möglichkeiten
Fahrweite	Großräumig
	Überregional
	Zwischenörtlich
Lage der Straße	Außerorts
	Innerorts
Fahrzweck	Urlaubsverkehr, Freizeitverkehr
	Berufsverkehr (Pendler)
	Wirtschaftsverkehr
Belastung der Straße	Verkehrsqualität (Reisegeschwindigkeit)
	Wirtschaftlichkeit (Auslastungsgrad)
	Nicht verkehrliche Nutzung

Tabelle 3: Anforderungskriterien für Straßennetze (Weise, Durth 1997)

Die einzelnen Streckenelemente des Straßennetzes lassen sich nach Zuständigkeit, also straßenrechtlich oder auch nach der zu erfüllenden Aufgabe gliedern. Die Aufgabe leitet sich aus den Anforderungen an das Netz ab und kann dabei hinsichtlich Lage zu einem Siedlungsgebiet, dem Straßenumfeld und der Funktion kategorisiert werden (Weise, Durth 1997, S.55)

### 3.6.1. Legistische Kategorisierung der Straßennetze

In Österreich werden Straßennetze rechtlich in 2 Kategorien eingeteilt, einerseits in hochrangiges und andererseits in niederrangiges Straßennetz. Das hochrangige Straßennetz, das aus Bundesautobahnen und Bundesschnellstraßen aufgebaut ist, ist rechtlich im Bundesstraßengesetz geregelt und wird im folgenden Kapitel beschrieben. Das niederrangige Straßennetz, das hauptsächlich Landes- und Gemeindestraßen beinhaltet, wird durch die Länder in den Landesgesetzen verwaltet.

#### 3.6.1.1. Hochrangiges Straßennetz

Die Bundesstraßen werden gemäß § 2 Absatz 1 BStG eingeteilt in (Bundesstraßengesetz 1971):

„a) Bundesstraßen A (Bundesautobahnen), das sind Bundesstraßen ohne höhengleiche Überschneidung mit anderen Verkehrswegen, die sich für den Schnellverkehr im Sinne der straßenpolizeilichen Vorschriften eignen und bei welchen besondere Anschlussstellen für die Zu- und Abfahrt vorhanden sind, einschließlich der Zu- und Abfahrtsstraßen.

b) Bundesstraßen S (Bundesschnellstraßen), das sind Bundesstraßen, die sich nach ihrer Anlage für den Schnellverkehr im Sinne der straßenpolizeilichen Vorschriften eignen, ohne dass die übrigen Voraussetzungen nach lit.a gegeben sind; sofern besondere Anschlussstellen für die Zu- und Abfahrt vorhanden sind, gelten die Zu- und Abfahrtsstraßen als Bestandteile der Bundesstraßen S (BGBl. I Nr. 182/1999 Bundesgesetz: Änderung des Bundesstraßengesetzes 1971).“

In §3 des BStG sind die Bestandteile der Bundesstraße wie folgt geregelt (Bundesstraßengesetz 1971):

„Als Bestandteile der Bundesstraße gelten neben den unmittelbar dem Verkehr dienenden Flächen, wie Fahrbahnen, Gehsteige, Rad- und Gehwege, Parkflächen, Haltestellenbuchten, der Grenzabfertigung dienende Verkehrsflächen, auch bauliche Anlagen im Zuge einer Bundesstraße, wie Tunnels, Brücken, Durchlässe, Stütz- und Futtermauern, Straßenböschungen, Straßengräben, ferner im Zuge einer Bundesstraße gelegene Mautanlagen sowie Anlagen zum Schutz vor Beeinträchtigungen durch den Verkehr auf der Bundesstraße, insbesondere gegen Lärmeinwirkung, weiters im Zuge einer Bundesstraße gelegene, der Erhaltung und der Beaufsichtigung der Bundesstraßen dienende bebaute und unbebaute Grundstücke sowie der Grenzabfertigung und der Bemaunung dienende Grundflächen.“

#### 3.6.1.2. Niederrangiges Straßennetz

Das niederrangige (untergeordnete Straßennetz) umfasst alle Straßen außer jenen, die durch den Bund verwaltet werden (hochrangiges Straßennetz). Zum niederrangigen Straßennetz zählen Landesstraßen und Gemeindestraßen. Bis ins Jahr 2002 wurden auch noch Bundesstraßen B durch den Bund verwaltet. Mit dem Bundesstraßen-Übertragungsgesetz (BGBl. I Nr. 50/2002) wurde die Verwaltung dieser Straßen auch an die Länder übertragen. Diese zählen seit dem zu den Landesstraßen (Bundesstraßen-Übertragungsgesetz 2002).

Die Unterteilung des niederrangigen Straßennetzes erfolgt in den Bundesländern auf unterschiedliche Arten. Grundsätzlich sind aber Landesstraßen und Gemeindestraßen die beiden Straßenkategorien, die in allen Bundesländern geregelt werden (mit Ausnahme von

Wien, hier ist von Hauptstraßen und Nebenstraßen die Rede). Weitere öffentliche Straßenarten werden in den Landesgesetzen unterschiedlich geregelt. Folgende Tabelle soll eine Übersicht über die unterschiedlichen öffentlichen Straßenarten in den Bundesländern zeigen:

Bundesland	Öffentliche Straßen	Quelle
Wien	Hauptstraßen, Nebenstraßen	Wiener Stadtverfassung
Niederösterreich	Landesstraßen, Gemeindestraßen, Naturstraßen	NÖ Straßengesetz 1999 (RIS 2006a)
Kärnten	Landesstraßen, Bezirksstraßen, Eisenbahnzufahrtsstraßen, Gemeindestraßen, Ortschaftswege, Verbindungswege	Kärnter Straßengesetz 1991 – K-Strg LGBl Nr 72/1991 (RIS 2006b)
Oberösterreich	Landesstraßen, Gemeindestraßen, Güterwege, Radfahrwege	Landesgesetz vom 24. Mai 1991 über die öffentlichen Straßen mit Ausnahme der Bundesstraßen (Oö. Straßengesetz 1991) (RIS 2006c)
Salzburg	Landesstraßen, Gemeindestraßen, öffentliche Interessentenstraßen, dem öffentlichen Verkehr dienende Privatstraßen	Salzburger Landesstraßengesetz 1972 - LStG. 1972 StF: LGBl Nr 119/1972 (WV) (RIS 2006d)
Steiermark	Landesstraßen, Eisenbahn- Zufahrtsstraßen, Konkurrenzstraßen, Gemeindestraßen, Öffentliche Interessentenwege,	Steiermärkisches Landes- Straßenverwaltungsgesetz 1964 - LStVG. 1964. (RIS 2006e)
Tirol	Landesstraßen, Gemeindestraßen, öffentliche Interessentenstraßen, öffentliche Privatstraßen.	Gesetz vom 16. November 1988 über die öffentlichen Straßen und Wege (Tiroler Straßengesetz) LGBl. Nr. 13/1989 (RIS 2006f)
Vorarlberg	Landesstraßen, Gemeindestraßen, Genossenschaftsstraßen, öffentliche Privatstraßen.	Gesetz über den Bau und die Erhaltung öffentlicher Straßen sowie über die Wegefreiheit (RIS 2006g)

Tabelle 4: Durch die Bundesländer geregelte öffentliche Straßenarten des niederrangigen Straßennetzes

Generell kann gesagt werden, dass Landesstraßen durch die Landesregierungen der einzelnen Länder verwaltet werden und Gemeindestraßen im Verantwortungsbereich der Gemeinden liegen.

Die unterschiedlichen Straßenarten erfüllen verschiedene Verkehrsfunktionen. Abhängig von dieser Funktion kann auch überlegt werden, für welche Netze eine Mauterhebung sinnvoll erscheint. Die möglichen Funktionen werden im folgenden Kapitel erläutert.

### 3.6.2. Funktionale Straßenkategorisierung

Verschiedene Straßennetzteile haben unterschiedliche Relevanz für die Verkehrsinfrastruktur. Diese Relevanz bestimmt die Funktion der Straße woraus sich der Ausbau- und Betriebsstandard ergibt.

Man kann zwischen folgenden wesentlichen Funktionen unterscheiden (Weise, Durth 1997, S.55):

- Verbindungsfunktion: für den Verkehr zwischen Regionen, Orten und Ortsteilen
- Erschließungsfunktion: für die Erreichbarkeit von Baugebieten oder Grundstücken
- Aufenthaltswfunktion: für den Aufenthalt von Menschen ausgerichtete Straßen

Diese verkehrlichen Funktionen überlagern sich mit nichtverkehrlichen Funktionen und können verschiedenste Kombinationen ergeben. Die Überlagerung der Funktionen erfolgt nach den Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS) mit folgenden Kategoriengruppen, die folgendermaßen unterteilt sind:

- Lage zu bebauten Gebieten
- Straßenumfeld
- Funktion

Die folgende Grafik zeigt die Überlagerung und die daraus entstehenden Kategoriengruppen (A bis E).

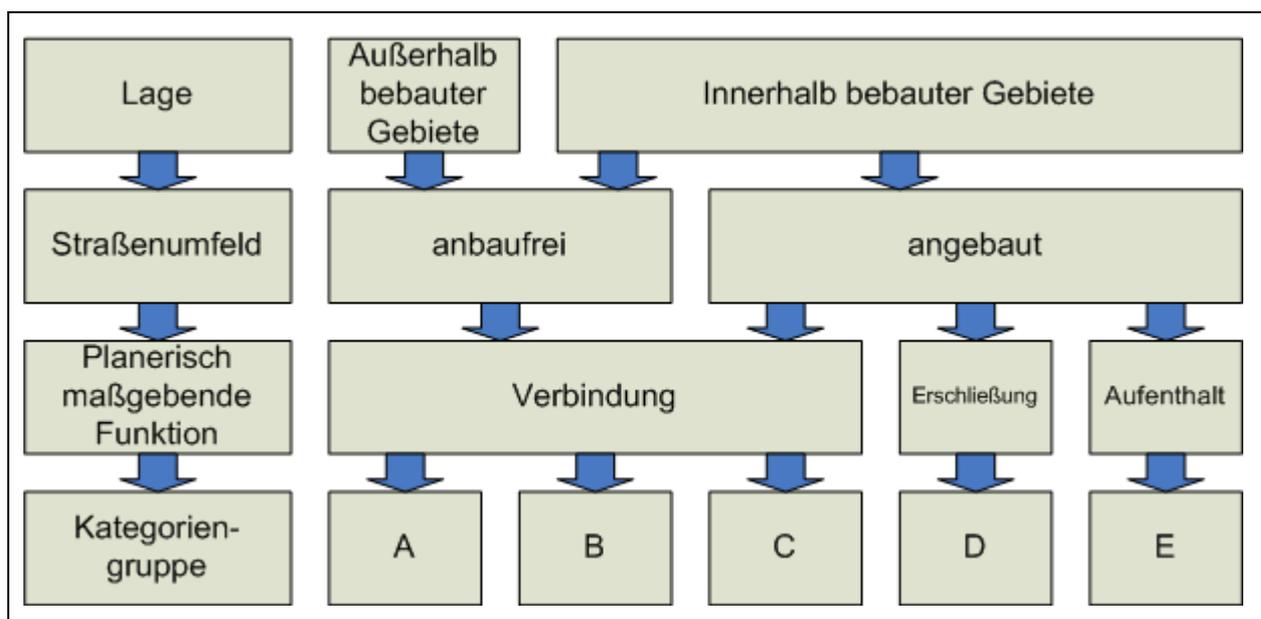


Abb. 7: Kategoriengruppen nach RAS-N<sup>14</sup> (Weise, Durth 1997, S.56)

Zwischen den maßgebenden Funktionen Verbindung, Erschließung und Aufenthalt bestehen im allgemeinen Konflikte, die durch eine entsprechende Ausgestaltung des Straßennetzes zu lösen sind. Bei Straßen außerhalb bebauter Gebiete, die eine Verbindungsfunktion ausüben treten kaum Konflikte auf. Hingegen ist eine Funktionsüberlagerung innerhalb bebauter Gebiete wesentlich häufiger. Dies ist besonders problematisch, wenn zwei der drei Funktionsbereiche mit hohen Qualitätsansprüchen aufeinander treffen. Ein Beispiel dafür wäre eine Hauptverkehrsstraße durch ein Ortszentrum mit gleichzeitiger Aufenthaltswfunktion

<sup>14</sup> RAS – Richtlinien für die Anlage von Straßen, der RAS-N (Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes) ist ein Teil der Richtlinien von RAS

als Einkaufsstraße. Durch eine Funktionsüberlagerung kann eine wesentliche Beeinträchtigung der einzelnen Funktionen erfolgen (Cerwenka et al. 2003 zitiert von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1988, (RAS-N) S.8 , Blatt 8-13).

Die Einteilung nach Kategoriengruppen genügt nicht um die Ansprüche an ein Netz zu definieren. Die Straßen sind noch weiter nach der Verbindungsfunktion zu unterscheiden. Dies ist darin begründet, dass hochrangigen Verbindungen grundsätzlich eine höhere Verkehrsqualität (in Bezug auf Reisegeschwindigkeit, Gleichmäßigkeit des Fahrverlaufs) zuzumessen ist als nachrangigen Verbindungen, und andererseits die Bedeutung einer Verbindungsstraße von der Bedeutung der verbundenen Orte abhängt. In diesem Zusammenhang wurden zur Festlegung der Ausbauqualität einzelner Streckenabschnitte in der RAS-N sechs Verbindungsfunktionsstufen definiert. (Cerwenka et al. 2003 zitiert von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1988, (RAS-N) S.8 , Blatt 8-14).

Durch die Verknüpfung der Kategoriengruppen mit den sechs Verbindungsfunktionsstufen werden die Straßenkategorien abgeleitet. Die folgende Matrix zeigt, wie diese Verknüpfung stattfindet.

Verbindungsfunktionsstufe \ Kategorien-Gruppe		außerhalb bebauter Gebiete	innerhalb bebauter Gebiete			
		Anbaufrei		Angebaut		
		Verbindung		Erschließung		Aufenthalt
		A	B	C	D	E
Großräumige Straßenverbindung	I	AI	BI	CI		
überregionale/ regionale Straßenverbindung	II	AII	BII	CII	DII	
zwischenkommunale Straßenverbindung	III	AIII	BIII	CIII	DIII	EIII
flächenerschließende Straßenverbindung	IV	AIV	BIV	CIV	DIV	EIV
untergeordnete Straßenverbindung	V	AV	-	-	DV	EV
Wegeverbindung	VI	AVI	-	-	-	EVI

Richtlinie: RAS-L, RAS-Q

Richtlinie: EAHV 93

Richtlinie: EAE 85/95

-	in der Regel nicht vorkommend
	problematisch
	besonders problematisch
	nicht vertretbar

Tabelle 5: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Straßenkategorien nach RAS-N (1988) (Wiese, Durth 1997, S.59)

Es ergeben sich 15 Straßenkategorien und Bezeichnungen, die den jeweiligen Kategoriegruppen zuordenbar und in der folgenden Tabelle aufgelistet sind.

Kategoriegruppe		Straßen- kategorie	Straßenbezeichnung
A	anbaufreie Straßen außerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Verbindungsfunktion	AI	großräumige Straße (Fernstraße)
		AII	überregionale/regionale Straße
		AIII	zwischenkommunale Straße
		AIV	flächenerschließende Straße
		AV	untergeordnete Straße
		AVI	Wegeverbindung
B	anbaufreie Straßen im Vorfeld und innerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Verbindungsfunktion	BII	Schnellverkehrsstraße
		BIII	Hauptverkehrsstraße
		BIV	Hauptsammelstraße
C	angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Verbindungsfunktion	CIII	Hauptverkehrsstraße
		CIV	Hauptsammelstraße
D	angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete	DIV	Sammelstraße
		DV	Anliegerstraße
E	angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Aufenthaltsfunktion	EV	Anliegerstraße
		EVI	Anliegerweg

Tabelle 6: Straßenkategoriegruppen nach RAS-N (1988)

Neben dieser Kategorisierung ist auch noch eine Betrachtung der Knotenpunkte von Straßennetzen für die Planung von Mautsystemen auf dem niederrangigen Straßennetz interessant. Deshalb werden die Grundlagen von Straßenknotenpunkten im nächsten Kapitel erläutert.

### 3.6.3. Straßenknotenpunkte

Knotenpunkte sind bauliche Anlagen die zur Verknüpfung zweier oder mehrerer Straßen dienen. Es wird zwischen folgenden Knotenpunktformen unterschieden (Weise, Durth 1997, S.251):

- Einmündung: Hierbei ist eine Straße an eine durchgehende Straße angeschlossen.
- Kreuzung: Dies ist ein Knotenpunkt mit mehr als drei Knotenpunktarmen, die mindestens 2 durchgehend befahrbare Straßen bilden
- Kreisverkehr: Ein Kreisverkehr verbindet drei oder mehr an einem Knotenpunkt zusammentreffende Straßen über eine Kreisringfahrbahn in der Richtungsverkehr vorgeschrieben ist.

Knotenpunkte können aber auch hinsichtlich Lage, Gestaltung und Regelungsart unterteilt werden:

Differenzierung nach	Option
Lage	Innerortsknotenpunkte
	Außerortsknotenpunkte
Gestaltung	Plangleiche Knotenpunkte
	Teilplanfreie Knotenpunkte
	Planfreie Knotenpunkte
Regelungsart	Lichtzeichengesteuerte Knotenpunkte
	Nicht-lichtzeichengesteuerte Knotenpunkte

Tabelle 7: mögliche Knotenpunktdifferenzierungen (Weise, Durth 1997)

Die Differenzierung erlaubt dem Straßenbau Schlussfolgerungen hinsichtlich der Umsetzung von Straßenknoten zu ziehen. Durch die Ausgestaltung eines Knotenpunktes ergeben sich nicht unwesentliche Einflüsse auf sich kreuzende Verkehrsströme, denn diese können fließend oder unterbrochen zusammengeführt bzw. getrennt verknüpft werden. Verkehrsströme werden durch Einfädeln zusammengeführt, durchdringen einander beim Kreuzen und Verflechten und werden durch das Ausfädeln auseinandergeführt.

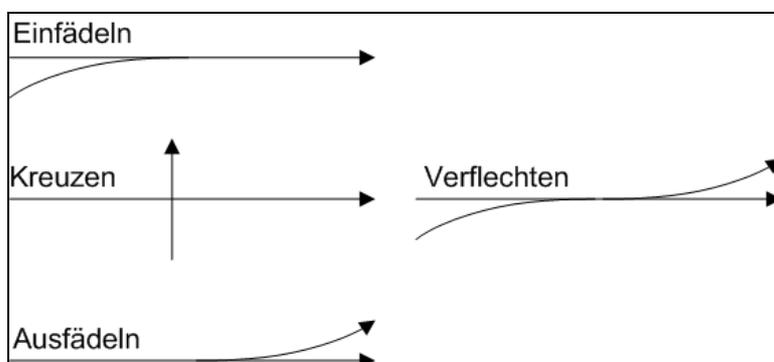


Abb. 8: Verflechtungsmöglichkeiten von Verkehrsströmen (Weise, Durth 1997)

Für die weitere Betrachtung von Knotenpunkten ist besonders die Unterscheidung hinsichtlich ihrer Gestaltung interessant, da dies ein wesentliches Merkmal zur Unterscheidung von hoch- und niederrangigem Straßennetz darstellt.

Bei der Gestaltung von Knotenpunkten ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen

- plangleichen (niveaugleichen) Knoten und
- planfreien (kreuzungsfreien) Knoten

In plangleichen Knotenpunkten wird der Verkehr in nur einer Ebene abgewickelt. Es wird hierbei grundsätzlich zwischen signalgesteuerten Knotenpunkten, Knotenpunkten mit bevorzogter Verkehrsführung und Knotenpunkten mit „Rechts-vor-links Regelung“ unterschieden (Cerwenka et al. 2003 zitiert von Mensebach 1994).

Planfreie Knoten werden im Regelfall für Straßennetze eingesetzt, die aufgrund der Verkehrsfunktion im Netz und wegen der großen Verkehrsstärke kreuzungsfrei geführt werden müssen. Dies betrifft vor allem die Straßengruppen AI, BI und BII (siehe Tabelle 5). Es wird dadurch sichergestellt, dass auch in den Knotenpunkten die Streckencharakteristik erhalten bleibt und sich das Fahrverhalten in Knoten nicht ändert (Weise, Durth 1997). Der Verkehr wird hierbei in mehr als einer Ebene abgewickelt, was auf das österreichische hochrangige Straßennetz mit seinen Autobahnen und Schnellstraßen zutrifft.

Bei planfreien Knotenpunkten wird weiters zwischen Autobahnknoten und Anschlussstellen unterschieden. Autobahnknoten sind Verknüpfungen mehrerer Autobahnen untereinander, während Anschlussstellen Autobahnen mit untergeordneten Straßen verknüpfen (Cerwenka et al. 2003 zitiert von Mensebach 1994).

### 3.6.4. Straßennetzformen

Straßennetze lassen sich in zwei Grundformen gliedern, nämlich in vermaschte und nicht vermaschte Netze. Die Netzformen werden in den beiden folgenden Kapiteln näher beschrieben.

#### 3.6.4.1. Vermaschte Netze

Ein vermaschtes Netz ist grundsätzlich schwach hierarchisch differenziert, kann aber mit gezielten Maßnahmen für bestimmte Verkehrsarten stärker hierarchisch strukturiert werden. Vermaschte Netze sind durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet (Cerwenka et al. 2003 zitiert von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1995):

- Vorwiegend beidseitig angeschlossene Netzelemente
- Uneingeschränkte Durchlässigkeit
- Umweglose Erreichbarkeit aller Grundstücke
- Große Vielfalt in der Wahl möglicher Wege
- Weitgehende Gleichrangigkeit der Netzelemente
- Vielzahl der Anschlüsse an die höherrangigen Verkehrswegenetze
- Große Anzahl von Knotenpunkten
- Überwiegen von Kreuzungen gegenüber Einmündungen
- Eignung mehrerer Netzelemente zur Führung des öffentlichen Personennahverkehrs

#### 3.6.4.2. Nicht vermaschte Netze

Nicht vermaschte, verästelte Netze sind am stärksten hinsichtlich ihrer Verbindungs- und Erschließungsfunktion hierarchisch differenziert. Dies ist auf eine Bündelung von Wegen zurückzuführen (Cerwenka et al. 2003).

Nicht vermaschte Netze sind durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet (Cerwenka et al. 2003 zitiert von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1995):

- Häufig nur einseitig angeschlossene Netzelemente
- Mögliche Differenzierung der Zugänglichkeit und damit der Sicherheits- und Umweltbelastungen für die Anlieger
- Einfach mögliche Verdeutlichung funktionaler Hierarchien durch Differenzierung der Netzelemente
- Eingeschränkte Durchlässigkeit für eine oder mehrere Verkehrsarten
- Begrenzte Anzahl von Anschlüssen an das höherrangige Verkehrsnetz
- Häufigkeit von Umwegen
- Geringe Vielfalt in der Wahl möglicher Wege
- Erschwerte Orientierbarkeit
- Eingeschränkte Eignung bestimmter Netzelemente zur Führung des öffentlichen Personennahverkehrs

### 3.6.5. Querschnittsgestaltung von Straßen

Straßen werden entsprechend ihrer Verkehrsfunktion so aufgebaut, dass unter Berücksichtigung der erwünschten Geschwindigkeit, der erwarteten Verkehrsstärke und der Verkehrszusammensetzung für alle Arten von Fahrzeugen und Fußgängern sichere Verkehrsbedingungen gegeben sind. Für Autobahnen gilt grundsätzlich das Richtungsfahrbahnen baulich zu trennen sind (Cerwenka et al. 2003 zitiert von Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1995). Diese Richtungsfahrbahnen bestehen bei Autobahnen und Schnellstraßen in der Regel auch aus mehreren Fahrstreifen. Bei allen anderen Straßen sind die Richtungsfahrbahnen selten baulich getrennt und oft steht auch nur ein Fahrstreifen in jede Fahrtrichtungen zur Verfügung.

### 3.6.6. Straßennetz in Österreich

Das österreichische Straßennetz unterscheidet mehrere Straßenarten. Autobahnen und Schnellstraßen zählen dabei zum hochrangigen Straßennetz, wohingegen Landstraßen B und Landstraßen L das niederrangige Straßennetz darstellen. Die Bemannung der Straßeninfrastruktur beschränkt sich zurzeit auf das hochrangige Straßennetz und wird einerseits durch die fahrleistungsabhängige LKW-Maut und andererseits durch die Vignettenpflicht in Österreich umgesetzt. Doch das hochrangige Straßennetz macht mit ca. 1,9% nur einen kleinen Teil des gesamten österreichischen Straßennetzes aus. Hier besteht noch enormes Potential für die Errichtung weiterer gebührenpflichtiger Streckenabschnitte. Die folgende Tabelle zeigt die Länge der unterschiedlichen Straßenarten und den jeweiligen Anteil am Gesamtstraßennetz.

Bundesland	Autobahnen und Schnellstraßen	Landesstraßen B	Landesstraßen L	Gemeindestraßen <sup>15</sup>	Gesamt
	Länge der Strecken [km]				
Wien	46,286	211,489		2500	2757,78
Niederösterreich	439,121	2960,055	10651,315	17000	31050,49
Burgenland	120,677	557,900	1197,393	600	2475,97
Oberösterreich	298,995	1582,500	4403,000	19900	26184,50
Salzburg	143,626	690,422	674,826	3700	5208,87
Steiermark	447,290	1597,000	3362,000	12900	18306,29
Kärnten	245,150	1139,240	1597,605	5500	8482,00
Tirol	216,936	971,336	1270,219	5900	8358,49
Vorarlberg	91,475	300,300	501,900	3000	3893,68
<b>Gesamt</b>	<b>2049,556</b>	<b>10010,242</b>	<b>23658,258</b>	<b>71000</b>	<b>106718,06</b>
Anteil des Gesamtnetzes	1,92%	9,38%	22,17%	66,53%	100,00%

Tabelle 8: Länge des in Betrieb befindlichen Straßennetzes nach Straßenarten (BMVIT, 2005)

<sup>15</sup> Die Gemeindestraßenlängen wurden aus dem Bericht Verkehr in Zahlen (Herry 2002) entnommen.

### 3.6.7. Vergleich zwischen hoch- und niederrangigem Straßennetz

Bisher wurden die möglichen Kenndaten von Straßennetzen beschrieben. In diesem Kapitel werden die zutreffenden Kenndaten dem hoch- und niederrangigem Straßennetz zugeteilt, um zu zeigen wie sich diese beiden Netze unterscheiden, und welche Anforderungen an Mautsysteme auf dem niederrangigen Straßennetz daraus hervorgehen. Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich der beiden Netze:

	Hochrangiges Netz	Niederrangiges Straßennetz
Straßenbezeichnung	Autobahnen A	Landesstraßen B
	Schnellstraßen S	Landstraßen L
		Gemeindestraßen,...
Netzlänge	2050km	10010km Landstraßen B
		23658km Landstraßen L
		71000km Gemeindestraßen
Anteil am Gesamtnetz	1,9%	98,1%
Lage	Anbaufrei	Angebaut
Funktion	Verbindung	Verbindung
		Erschließung
		Aufenthalt
Knotenpunktlage	Außerorts	Außerorts
		Innerorts
Knotenpunktegestaltung	Planfrei	Plangleich
		planfrei (eher selten)
Knotenpunktarten	Autobahnknoten	Kreuzungen
	Anschlussstellen	Kreisverkehr
		Anschlussstellen (selten, z.B. bei Ortsumfahrungen)
Knotenpunktregulierung	Keine	Lichtsignalanlagen
		Durch Vorrangregelungen
Netzart	Verästeltes Netz	Vermaschtes Netz
Fahrbahnquerschnitt	Richtungsfahrbahnen baulich getrennt, mehrere Fahrstreifen pro Fahrtrichtung	Keine bauliche Trennung, meist 1 Fahrstreifen pro Fahrtrichtung

Tabelle 9: Kenndaten von hoch- und niederrangigem Straßennetz

Das Autobahnnetz stellt nur einen Bruchteil des gesamten österreichischen Verkehrsnetzes dar, außerdem ist dieses Netz anbaufrei angelegt und nur über definierte Auf- und Abfahrten erreichbar. Diese Auf- und Abfahrten in das hochrangige Straßennetz sind als planfreie Knoten konzipiert, wodurch der Verkehrsfluss erhalten bleibt, und keine weiteren Maßnahmen zur Knotenpunktregulierung notwendig sind. Durch die anbaufreie Lage des hochrangigen Straßennetzes ist ein Aufbau von Mautinfrastruktur wesentlich einfacher zu bewerkstelligen als am niederrangigen Straßennetz. Außerdem handelt es sich beim hochrangigen Straßennetz um ein verästeltes Netz, das nur auf den motorisierten Verkehr ausgerichtet ist, um eine Verbindungsfunktion zu erfüllen.

Das niederrangige Straßennetz stellt ca. 98% der österreichischen Straßeninfrastruktur dar, wobei der Großteil des Netzes aus Gemeindestraßen besteht. Diese Gemeindestraßen sind aber mit dem Landstraßen und Bundesstraßennetz vermascht und durch eine Vielzahl von Knotenpunkten miteinander verbunden. Die Knotenpunkte sind meist als plangleiche Kreuzungen oder Kreisverkehre aufgebaut, wodurch oft Hilfsmittel zur Knotenregulierung benötigt werden, und der Verkehrsfluss in diesen Punkten gebremst oder sogar unterbrochen wird. Weiters erwähnenswert ist die Tatsache, dass das niederrangige

Straßennetz nicht nur eine Verbindungsfunktion erfüllt, sondern ebenfalls den Anforderungen der Erschließungsfunktion und der Aufenthaltswfunktion genügen muss.

Durch die enorme Länge des stark vermaschten, niederrangigen Straßennetzes stellt sich auch die Frage, welche Teile des Netzes bemautet werden sollen, bzw. ob eine flächendeckende Mauterhebung sinnvoll ist. Diese Fragen werden im Kapitel 7 diskutiert.

Nach der bisher erfolgten Betrachtung der Grundlagen von Mautsystemen und Straßennetzen, ist eine genauere Analyse elektronischer Mautsysteme notwendig. Dies soll zeigen, welche Daten in einem Mautsystem in den unterschiedlichen Systemfunktionen für eine Gebührenerhebung erfasst werden müssen, was für die weitere Analyse relevanter Datenerfassungstechnologien erforderlich ist.

## 4. Funktionale Analyse elektronischer Mautsysteme

Für die weitere Betrachtung der Mautkonzepte ist es notwendig zu diskutieren, welche Daten in einem Mautsystem notwendig sind. In der funktionalen Analyse werden notwendige Funktionen für eine Gebührenerhebung in Mautsystemen betrachtet. Weiters werden die in den Funktionen notwendigen Daten unter Berücksichtigung externer Anforderungen analysiert und danach Möglichkeiten für die Erfassung der Daten diskutiert. Die Analyse wird für offene, geschlossene und autonome Mautsysteme durchgeführt.

### 4.1. Vorgehensweise

Die Vorgehensweise der Analyse wurde in vier Schritte gegliedert:

1. **Definition der Funktionen**
2. **Beschreibung der externen Einflussfaktoren auf notwendige Mautdaten:** Anforderungen an Mautsysteme werden von Mautbetreibern definiert. Ein Teil dieser Anforderungen bestimmt und beeinflusst die notwendigen Daten in den hier betrachteten Funktionen. Die Anforderungen werden in diesem Schritt bestimmt und als externe Einflussfaktoren zusammengefasst.
3. **Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Funktionen:** Die im 2. Schritt definierten Einflussfaktoren sind nicht für alle Mauterhebungsfunktionen gleichermaßen relevant, darum erfolgt in diesem Schritt eine Zuordnung zwischen Funktion und relevanten Einflussfaktoren.
4. **Analyse der Daten und Datenquellen in den einzelnen Funktionen:** In diesem Schritt werden die in den Funktionen notwendigen Daten und dafür mögliche Datenquellen, unter Berücksichtigung der zugeordneten Einflussfaktoren, aber ohne auf die technische Umsetzung einzugehen, ausgearbeitet. Diese Informationen dienen als Basis für die weitere Betrachtung der Datenerfassung für Mautsysteme.

### 4.2. Funktionale Anforderungen

Ein Mautsystem erfüllt den Zweck einer Gebührenerhebung für die Nutzung einer bestimmten Infrastruktur. Dabei müssen folgende Funktionen im System umgesetzt werden (Sutter et al. 2006):

- **Registrierung:** zur Speicherung von Nutzer und Fahrzeuginformationen
- **Kategorisierung:** zur Erkennung, ob ein Fahrzeug an einer Mautstelle Abgaben leisten muss, und wenn ja in welche Abgabekategorie es fällt
- **Detektion:** Erfassen der Durchfahrt eines Fahrzeugs an einer Mautstelle
- **Transaktion:** Übermitteln der für eine Abrechnung notwendigen Daten von einem Fahrzeuggerät, bzw. Fahrzeugerfassungsgerät an ein zentrales Abrechnungssystem
- **Enforcement:** Erfüllt den Zweck des Erkennens und der Beweissicherung von Fahrzeugen, die ohne eine gültige Transaktion die Mautinfrastruktur nutzen

- Abgabeberechnung: Hierbei werden die fälligen Gebühren berechnet und in Rechnung gestellt

Die technische Umsetzung der einzelnen Funktionen ist von den Anforderungen, die ein Mautbetreiber für sein System definiert, abhängig. Für die Betrachtung der unterschiedlichen Mautkonzepte am niederrangigen Straßennetz ist vor allem die Untersuchung der benötigten Daten in den einzelnen Funktionen von Bedeutung. Dafür müssen die Faktoren bestimmt werden, die notwendige Mautdaten in den Funktionen beeinflussen.

#### 4.2.1. Definition externer Einflussfaktoren auf notwendige Mautdaten

Die einzelnen Funktionen des Mautsystems benötigen unterschiedliche Informationen, um ihre Aufgaben erfüllen zu können. Die folgende Tabelle zeigt die in den Funktionen benötigten Informationen.

Funktion	Benötigte Information
<b>Registrierung</b>	Benutzerinformationen
	Fahrzeuginformationen
	Bezahlungsinformationen
<b>Kategorisierung</b>	Information ob Fahrzeug abgabepflichtig ist
	Fahrzeugklasseninformation eines Fahrzeugs
<b>Detektion</b>	Lokalisierungsinformationen eines Fahrzeugs
	Zuordnungsinformation zu einem Fahrzeug
<b>Transaktion</b>	Informationen zur Abrechnung bestehend aus Lokalisierungsinformationen und Kategorisierungsinformationen
<b>Enforcement</b>	Detektionsinformationen (dass ein Fahrzeug eine Überwachungsstation passiert hat, Zuordnung zum Fahrzeug)
	Kategorisierungsinformationen
	Vergleichsinformationen aus einem System zum Abgleich mit den Detektions- und Kategorisierungsinformationen
<b>Abgabeberechnung</b>	Registrierungsinformationen (Benutzer, Fahrzeug, Bezahlung)
	Transaktionsinformationen (Lokalisierungs-, und Kategorisierungsinformationen)

Tabelle 10: Benötigte Informationen zur Umsetzung der Mautsystem-Funktionen

Diese Informationen basieren auf Daten, die in den Funktionen erfasst werden müssen, und sind vom Aufbau des Mautsystems abhängig.

Die nachfolgende Tabelle zeigt mögliche Anforderungen, die den Aufbau elektronischer Mautsysteme festlegen. Diese Kenndaten wurden in einem Bericht des EU-Projekts DESIRE (Designs for Interurban Road Pricing Schemes in Europe) folgendermaßen gegliedert (DESIRE 2001):

Kenndaten	Möglichkeiten	Beschreibung
Ziele des Mautsystems	Finanzierung der Infrastruktur	
	Effiziente Nutzung der Infrastruktur	
	Internalisierung Externer Kosten	
Mautpflichtige Infrastruktur	fahrleistungsabhängige Maut für ein Netz	Gebühr abhängig von der zurückgelegten Strecke in einem Straßennetz

Kenndaten	Möglichkeiten	Beschreibung
	fahrleistungsabhängige Maut für ein Gebiet	Gebühr abhängig von der zurückgelegten Strecke auf einem Teil eines Netzes
	Mauteinhebung für eine Durchfahrt	Übliche Methode zur Gebührenverrechnung bei der Nutzung von Brücken, Tunnels od. kurzen Autobahnabschnitten
	Mauteinhebung für die Nutzung eines Gebiets/einer Fläche	Kordon-Mautsysteme
Systemart	Offenes System	Siehe Kapitel 3.4.1
	Geschlossenes System	Siehe Kapitel 3.4.2
	Autonomes System	Siehe Kapitel 3.4.3
Mautpflichtige Fahrzeugarten	Alle Fahrzeuge	
	Schwerfahrzeuge, Pkw, Moped	
Gebührenberechnung	Fahrleistungsabhängig für einen Streckenabschnitt	Für offene wie auch geschlossene Systeme
	Fahrleistungsabhängig mit Bezug auf den zurückgelegten Fahrweg	
	Zeitbezogen mit fixem Bemessungszeitraum	Verweildauer im Mautsystem relevant für die Gebühren
	Durchfahrtsbezogen	
	Zeitbezogen mit variablem Bemessungszeitraum	Abhängig von Uhrzeit, Tag, Verweildauer, usw.
Klassifikation	Durch Gespeicherte Eigenschaften	Fahrzeugklasse wird durch Informationen aus der Fahrzeugeinheit (On board unit – OBU) bestimmt
	Durch gemessene Eigenschaften	Fahrzeugklasse wird durch die Messung der physikalischen Eigenschaften beim passieren einer Mautstation bestimmt
	Gespeichert in zentraler Datenbank	z.B. via Kennzeichenerkennung
	Rückerstattung (Spezialfall)	Klassifizierung im Nachhinein, für die Behandlung von Ausnahmefällen (z.B. ortsansässige Personen)
Bezahlungsarten	Pre-payment	Bezahlung vor der Nutzung des Services
	Post-payment	Bezahlung nach der Nutzung des Services
	Immediate Payment	Bezahlung im Moment der Nutzung eines Mautservices
Bezahlungsverfahren	Bezahlungsmittel	Bargeld, Elektronische Bezahlung, Bestellung/Vertrag, Konto
	Bezahlungsmedium	Geldbörse/Ticket, Magnetkarte, Chip-Karte, OBU

Kenndaten	Möglichkeiten	Beschreibung
	Bezahlungsart	Pre-payment, Post-payment, Immediate-Payment
	Gültigkeitsbereich	Für eine oder mehrere Anwendungen
Ort des Kontos	On-board	Buchungsinformationen werden in der OBU gespeichert
	zentral	Buchungsinformationen werden zentral verwaltet
Fahrzeugeinheit (OBU)	Tag System	Fahrzeugeterkennung mit aktiven oder passiven Tags
	Smartcard System	Fahrzeugeinheit mit separater Smartcard
	DSRC	Kommunikation zwischen OBU und Kontrollbaken durch Dedicated Short Range Communication (DSRC) (siehe Kapitel 5.2.5)
	Autonomes System	Mautsystem nutzt GNSS oder einfache Balkensystem zur Navigation, und Mobilfunksysteme wie GSM für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Zentrale
	System „aus einem Guss“	OBU enthält alle notwendigen Bestandteile (Stromversorgung, Antennen, Display)
	System aus mehreren Komponenten	Teilkomponenten des Systems sind außerhalb der OBU
Straßenarten	Einspurig	
	Mehrspurig	
	Pseudo-mehrspurig	
Enforcement Konzepte	Totale Überwachung	Alle Fahrzeuge werden kontrolliert
	Stichprobenartig	
	Automatisch	Kontrolle erfolgt durch automatisierte Anlagen, wie beispielsweise Überwachungskameras
	Manuell	Fahrzeuge werden zur Kontrolle angehalten
	Integriert	Kontrolle erfolgt bei der Mautstation
	Separiert	Kontrolle erfolgt zu einem anderen Zeitpunkt und Ort als die Vergebührung
	Ortsfest	Kontrolleinheit ist fix aufgebaut
	Mobil	Kontrolleinheit ist beispielsweise in Fahrzeugen untergebracht
Behandlung von „unausgestatteten“ Nutzern	Keine Alternativen	Kunde hat keine Alternativen, die Nutzung der Mautinfrastruktur ohne entsprechende Ausrüstung ist nicht erlaubt
	Temporärer Account	Nutzer erhält vor der Nutzung des Mautsystems eine Account

Kenndaten	Möglichkeiten	Beschreibung
	Manuelle Bezahlung	Bezahlung bei einer Mautstelle direkt an der Straße
	Verzögerte Zahlung	Nutzer darf das System nutzen und kann zu einem späteren Zeitpunkt bezahlen
Pflichten des Nutzers	OBU zwingend erforderlich	
	OBU optional	Andere Bezahlungsarten sind möglich
	Kunde ist verpflichtet am Mautsystem teilzunehmen	
	Kunde ist verpflichtet die OBU in ordnungsgemäßen Zustand zu erhalten	Kunde ist verantwortlich für Kalibrierung, Instandhaltung, usw.

Tabelle 11: Kenndaten elektronischer Mautsysteme (DESIRE 2001)

Nicht alle der oben genannten Kenndaten sind für die Analyse der notwendigen Daten in den Funktionen interessant. Deshalb wurden aus den Kenndaten elektronischer Mautsysteme (DESIRE 2001) und den funktionalen Anforderungen an elektronische Mautsysteme (Sutter et al. 2006) die relevanten externen Einflussfaktoren, gebildet. Dabei wurden vom Autor folgende Einflussfaktoren definiert:

- Mautsystemarchitektur (offen/geschlossen/autonom, siehe Kapitel 3.4)
- Zahlungsmodalität (Pre-pay oder Post-pay)
- Ausgestaltung der Fahrzeugkategorisierung (LKW, PKW, nach gemessenen bzw. gespeicherten Daten, siehe Kapitel 3.3.3)
- Gerätepflicht (Mautsystem mit oder ohne Fahrzeugeinheit)
- Art der Gebührenerhebung (je Durchfahrt, zeit, streckenabhängig, siehe 3.3)

#### Zahlungsmodalität:

Bei den meisten elektronischen Mautsystemen hat der Kunde zwei Zahlungsmöglichkeiten zur Auswahl. Dabei unterscheidet man ein Zahlen im Voraus (Pre-Pay Verfahren) mit dem Zahlen der Mautgebühren nach der Fahrt (Post-Pay Verfahren). Beim Pre-Pay Verfahren bezahlt der Kunde im Voraus und verbraucht sein Guthaben mit jeder Fahrt auf einer mautpflichtigen Strecke, während beim Post-Pay Verfahren eine Abbuchung von einem Konto des Fahrzeughalters erfolgt (Wieden 2001).

#### 4.2.2. Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Mautsystemfunktionen

Die definierten externen Einflussfaktoren beeinflussen nicht jede Funktion eines Mautsystems hinsichtlich notwendiger Daten. Darum wurden die relevanten Faktoren den 6 Kernfunktionen von Mautsystemen zugeordnet. Diese Zuteilung ist in der folgenden Tabelle abgebildet:

<b>Funktion</b>	<b>wird in der Datenerfassung beeinflusst durch</b>
<b>Registrierung</b>	Zahlungsmodalitäten
	Gerätepflicht
<b>Kategorisierung</b>	Fahrzeugkategorisierung (Kategorisierung aufgrund der Messdaten, Kategorisierung aufgrund gespeicherter Daten in der Fahrzeugeinheit)
	Basisarchitektur (offen/geschlossen/autonom)
<b>Detektion</b>	Gerätepflicht
	Basisarchitekturen (offen/geschlossen/autonom)
	Gebührenerhebung
<b>Transaktion</b>	Kategorisierung
	Detektion
<b>Enforcement</b>	Fahrzeugkategorisierung (Kategorisierung aufgrund der Messdaten, Kategorisierung aufgrund gespeicherter Daten in der Fahrzeugeinheit)
	Fahrzeugkategorisierung
	Gerätepflicht
<b>Abgabenberechnung</b>	Zahlungsmodalitäten
	Fahrzeugkategorisierung
	Kategorisierung aufgrund der Messdaten
	Kategorisierung aufgrund gespeicherter Daten in der Fahrzeugeinheit
	Gebührenerhebung

Tabelle 12: Externe Einflussfaktoren auf notwendige Daten

In den folgenden Kapiteln werden die Funktionen einzeln betrachtet. Hierbei werden die für die Funktionen notwendigen Daten und mögliche Datenquellen für offene, geschlossene, und autonome Systeme analysiert. Die möglichen Datenerfassungstechnologien werden erst im darauf folgenden Kapitel betrachtet. Durch die Anforderungen des niederrangigen Straßennetzes ergeben sich weitere begrenzende Faktoren für den Einsatz bestimmter Technologien, aus der sich die Eignung der unterschiedlichen Basismautkonzepte für das untergeordnete Netz analysieren lässt.

## 4.3. Datenanalyse

### 4.3.1. Registrierung

Durch die Registrierung werden Informationen von Nutzern und Fahrzeugen für das Mautsystem gespeichert (Sutter et al. 2006). Die abgelegten Informationen (Daten) sind hauptsächlich von folgenden 3 Faktoren abhängig:

- **Zahlungsmodalitäten:** Hierbei wird festgelegt, an welche Zahlungsform ein Kunde gebunden ist (pre-pay/post-pay) und wie in weiterer Folge die Mautgebühren zu entrichten sind.
- **Fahrzeugkategorisierung:** Um eine flexible Tarifgestaltung zu ermöglichen, ist eine Fahrzeugkategorisierung notwendig. Die Kategorisierung von Fahrzeugen erfolgt über physikalische Eigenschaften sowie weiteren Kenndaten von Fahrzeugen und wird vom Mautsystembetreiber bestimmt. Mögliche Kategorisierungsformen zur flexiblen Tarifgestaltung wurden bereits im Kapitel 3.3 erläutert.
- **Gerätepflicht:** Hier gibt es 2 Möglichkeiten, entweder muss jedes Fahrzeug eine Fahrzeugeinheit besitzen, um das Mautsystem nutzen zu dürfen, oder aber es ist

auch eine Nutzung ohne Fahrzeuggerät möglich. Bei einer Gerätepflicht ist eine Registrierung im System unabdingbar, und die Speicherung einer Geräte-Identifikationsnummer reicht für eine Zuordnung eines Fahrzeugs zur Registrierung aus. Andernfalls muss die Möglichkeit bestehen, dass sich ein Kunde temporär im System registriert, und so seine Fahrten am mautpflichtigen Netz verwaltet (Oehry 2004). Da in diesem Fall kein Fahrzeuggerät vorhanden ist, muss eine Zuordnung der Registrierungsdaten über ein anderes eindeutiges Fahrzeugmerkmal erfolgen. Dafür bietet sich das Fahrzeug-Kennzeichen an.

Die folgende Tabelle zeigt mögliche Daten, die für die Registrierungsfunktion notwendig sein können. Diese Daten wurden aus den möglichen Anforderungen der 3 zuvor beschriebenen Faktoren abgeleitet.

	Daten
<b>Zahlungsmodalität:</b>	Pre-pay / Post-pay
<b>Kontostand:</b>	Kontoguthaben/ Saldo
<b>Zahlungsmedium:</b>	Bargeld, Konto, Kreditkarte,...
<b>Registriert über:</b>	Telefon, SMS, Online, angelegtes Konto
<b>Fahrzeuginformationen:</b>	Kennzeichen
	Fahrzeughalter
	Fahrzeuglenker
<b>Fahrzeugkategorisierung:</b>	Fahrzeugklasse (LKW, PKW, Motorrad,...)
	Länge
	Höhe
	Gewicht
	Emissionen (Lärm, Schadstoffe)
	Leistung
	Antriebsart
	Achszahl
<b>Fahrzeugeinheitsdaten:</b>	Identifikationsnummer (zur Zuordnung zu den restlichen Daten)
<b>Registrierung nicht zwingend:</b>	nicht möglich
	Temporäre Accountdaten
	Barzahlungsinformationen eines Nutzers (Terminal)
	Graue Liste (Mautsystemnutzer die noch nicht bezahlt haben)

Tabelle 13: mögliche Registrierungsdaten

Es ist zu beachten, dass die tatsächlich verwalteten Daten in existierenden Mautsystemen von der praktischen Umsetzung abhängen, die Tabelle stellt nur die möglichen Mautdaten dar und stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Benutzer des Mautsystems dienen als Datenquelle für die Registrierung, d.h. die Registrierungsfunktion arbeitet als Schnittstelle zu den Nutzern. Die Datenerfassung der Registrierungsfunktion arbeitet unabhängig davon, ob das Mautsystem als offenes, geschlossenes oder autonomes System konzipiert wird, denn in jedem dieser Systeme ist die Erfassung der Daten über die Nutzer notwendig.

### 4.3.2. Kategorisierung

Der Zweck der Kategorisierungsfunktion ist es, zu erkennen, ob ein Fahrzeug an einer Mautstelle Abgaben leisten muss. Und wenn dies der Fall ist, in welche Kategorie es fällt, wodurch wiederum die Abgabenhöhe definiert wird (Sutter et al. 2006). Durch die Datenerfassung wird ein Fahrzeug klassifiziert und dabei einer vorher definierten Kategorie zugewiesen.

Die Datenerfassung bei der Klassifizierung hängt davon ab

- ob überhaupt eine Fahrzeugkategorisierung erfolgt,
- ob die Kategorisierung auf gemessenen Daten beruht
- ob die Kategorisierung auf gespeicherten Daten beruht
- welches Mautkonzept angewandt wird

Ohne eine Fahrzeugklassifizierung ist zwar weiter eine fahrleistungs- bzw. zeitabhängige Gebührengestaltung möglich, die Unterschiede in der Belastung der Infrastruktur zwischen Schwerverkehr (Lkw) und Individualverkehr (Pkw) können aber nicht berücksichtigt werden. Da aber das Ziel verfolgt wird, den Nutzern ihre verursachten Kosten anzulasten, ist eine Fahrzeugklassifizierung notwendig. Die Daten aus denen die Kategorisierung abgeleitet wird, können gemessen, oder aus einer Fahrzeugeinheit ausgelesen werden (siehe Tabelle 11). Die Kategorisierungsfunktion ist somit auf Sensoren zur Messung und auf die Fahrzeugeinheit zum Auslesen möglicher Daten beschränkt.

Die folgende Tabelle zeigt, unabhängig von der einsetzbaren Technologie, welche Datenquellen in den unterschiedlichen Basiskonzepten zur Fahrzeugkategorisierung herangezogen werden können. Die Kategorisierungsdaten wurden aus den Kapiteln 3.3.3 und 3.3.4 abgeleitet.

Daten	Datenquellen in unterschiedlichen Basiskonzepten		
	offen	geschlossen	Autonom
Länge	Sensoren, Fahrzeugeinheit		Fahrzeugeinheit
Höhe	Sensoren, Fahrzeugeinheit		
Achszahl	Sensoren, Fahrzeugeinheit		
Gewicht	Sensoren, Fahrzeugeinheit		
Lärmemission	Sensoren, Fahrzeugeinheit		
Schadstoffemission	Sensoren, Fahrzeugeinheit		
Leistung	Sensoren, Fahrzeugeinheit		
Antriebsart	Sensoren, Fahrzeugeinheit		
Fahrzeugklasse	Sensoren, Fahrzeugeinheit		

Tabelle 14: Kategorisierungsdaten und mögliche Datenquellen

Offene und geschlossene Systeme verwenden Mautstationen zur Datenerfassung, während autonome ohne zusätzliche straßenseitige Infrastruktur das Auslangen finden. Deshalb steht bei autonomen Systemen nur die Fahrzeugeinheit als Quelle für Kategorisierungsdaten zur Verfügung. Eine Fahrzeugeinheit für ein autonomes Mautsystem ist deshalb zwingend erforderlich.

Bei geschlossenen und offenen Mautsystemen liefern neben der Fahrzeugeinheit auch Sensoren Daten zur Kategorisierung. Dies zeigt, dass bei offenen und geschlossenen Systemen die Fahrzeugkategorisierung auch ohne Fahrzeugeinheit realisiert werden kann.

Die beiden zur Kategorisierung möglichen Datenquellen bergen Risiken in sich. Die von Sensoren gemessenen Daten unterliegen Toleranzen, was zur Lieferung von Fehlinformationen führen kann. Bei gespeicherten Daten in der Fahrzeugeinheit besteht das Risiko der Manipulation zum Vorteil des Nutzers. Diese Risiken müssen bei einer technischen Umsetzung berücksichtigt und möglichst minimiert werden.

### Exkurs: Kategorisierung Autonomes Mautsystem

In autonomen Systemen wird ein Fahrzeug prinzipiell zwar nur über die Fahrzeugeinheit klassifiziert, für eine Überwachung der Systemnutzer (Enforcementfunktion) ist man aber trotzdem auf Messdaten von Sensoren angewiesen. Dies zeigt, dass auch autonome Systeme nicht ohne straßenseitige Messinfrastruktur alle Systemfunktionen erfüllen können.

### 4.3.3. Detektion

Die Detektionsfunktion erfasst Fahrzeuge an einer Mautstelle, und bestimmt somit die Position eines Fahrzeuges im Mautsystem (Sutter et al. 2006). Die Erfassung der Lokalisierungsdaten an einer Mautstelle reicht oft nicht aus, da zusätzliche Informationen für das Mautsystem benötigt werden. Diese Zusatzinformationen ergeben sich durch die Anforderungen aus

- der Art der Gebührenerhebung
- der Gerätepflicht

und müssen ebenfalls erfasst werden. Das heißt, dass bei der Detektion die Daten zur Lokalisierung, Gebührenerhebung und Fahrzeugzuordnung erfasst werden müssen.

Bei offenen und geschlossenen Mautsystemen sind Mautstationen für das Erfassen der Daten verantwortlich, in autonomen Systemen ist die Fahrzeugeinheit für diese Aufgaben zuständig. Die Zuordnung der erfassten Daten zu einem Fahrzeug kann danach nur auf 2 Arten erfolgen. Entweder über eine Identifikationsnummer der Fahrzeugeinheit, oder aber über das Kennzeichen des Fahrzeugs. Bei Systemen ohne Fahrzeugeinheit (offene und geschlossene Systeme sind möglich) ist das Kennzeichen die einzige Möglichkeit für eine Zuordnung.

Die Daten für die Einhebung von Mautgebühren sind auch davon abhängig, ob eine fahrleistungs- bzw. zeitabhängige Vergebührung erfolgt. Die Fahrzeugkategorisierung, die ebenfalls in die Gebührenberechnung einfließt, wird bereits durch die Kategorisierungsfunktion erfasst und ist deshalb in der Detektionsfunktion nicht relevant.

Die fahrleistungs- und zeitabhängigen Vergebührungskonzepte können auch miteinander verknüpft werden und in verschiedenen Kombinationen auftreten. Daraus ergeben sich Unterschiede in den zu erfassenden Daten, die in den folgenden 3 Tabellen für das offene, geschlossene und autonome Mautsystem dargestellt werden.

**Offenes Mautsystem**

<b>Gebührenerhebung:</b>		<b>Zeitbezug</b>			
		<b>Daten</b>	<b>ohne</b>	<b>fix</b>	<b>variabel</b>
<b>nach Fahrweg</b>	Netzabschnittslänge	x	x	x	x
	Netzpunkt zw. Aus und Einfahrt	x	x	x	x
	Dyn. Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt d. Passierens d. Mautstation		x	x	x
	Verweildauer im Netz			x	x
<b>nach Strecke</b>	Streckenlänge	x	x	x	x
	Netzpunkt zw. Aus und Einfahrt	x	x	x	x
	Dyn. Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt d. Passierens d. Mautstation		x	x	x
	Verweildauer auf der Strecke			x	x
<b>nach Raum<sup>16</sup></b>	Eintrittspunkt	x	x	x	x
	Austrittspunkt	x	x	x	x
	Streckenlänge im Netz	x	x	x	x
	Dyn. Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt Eintritt		x	x	x
	Zeitpunkt Austritt			x	x
	Zeitpunkt d. Passierens d. Mautstation		x	x	x

Tabelle 15: mögliche Gebührenerhebungsdaten der Detektionsfunktion im offenen Mautsystem

**geschlossenes Mautsystem**

<b>Gebührenerhebung:</b>		<b>Zeitbezug</b>			
		<b>Daten</b>	<b>ohne</b>	<b>fix</b>	<b>variabel</b>
<b>nach Fahrweg</b>	Netzabschnittslänge	x	x	x	x
	Eintrittspunkt (Ort)	x	x	x	x
	Austrittspunkt (Ort)	x	x	x	x
	Dynamische Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt Eintritt		x	x	x
	Zeitpunkt Austritt			x	x
<b>nach Strecke</b>	Streckenlänge	x	x	x	x
	Eintrittspunkt (Ort)	x	x	x	x
	Austrittspunkt (Ort)	x	x	x	x
	Dynamische Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt Eintritt		x	x	x
	Zeitpunkt Austritt			x	x
<b>nach Raum</b>	Eintrittspunkt (Ort)	x	x	x	x
	Austrittspunkt (Ort)	x	x	x	x
	zurückgelegte Strecke im Netz (bei Austritt)	x	x	x	x
	Dynamische Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt Eintritt		x	x	x
	Zeitpunkt Austritt			x	x

Tabelle 16: mögliche Gebührenerhebungsdaten der Detektionsfunktion im geschlossenen Mautsystem

<sup>16</sup> Die Gebührenerhebung "nach Raum" ist über ein offenes Mautsystem zwar möglich, aber durch Abgrenzung eines Raums folgt automatisch eine Umwandlung in ein geschlossenes System.

**autonomes Mautsystem**

Gebührenerhebung:		Zeitbezug			
		ohne	fix	variabel	dynamisch
nach Fahrweg	Daten				
	Netzabschnittslänge	x	x	x	x
	Eintrittspunkt (Ort - virtuell)	x	x	x	x
	Austrittspunkt (Ort - virtuell)	x	x	x	x
	Dynamische Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt Eintritt		x	x	x
	Zeitpunkt Austritt			x	x
nach Strecke	Streckenlänge	x	x	x	x
	Eintrittspunkt (Ort - virtuell)	x	x	x	x
	Austrittspunkt (Ort - virtuell)	x	x	x	x
	Dynamische Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt Eintritt		x	x	x
		Zeitpunkt Austritt			x
nach Raum	Eintrittspunkt (Ort-virtuell)	x	x	x	x
	Austrittspunkt (Ort- virtuell)	x	x	x	x
	zurückgelegte Strecke im Netz (bei Austritt)	x	x	x	x
	Dynamische Verkehrsdaten				x
	Zeitpunkt Eintritt		x	x	x
		Zeitpunkt Austritt			x

Tabelle 17: mögliche Gebührenerhebungsdaten der Detektionsfunktion im autonomen Mautsystem

Die möglichen Eigenschaften der Gebührenerhebung wurden bereits im Kapitel 3.3 beschrieben. Die 3 Tabellen zeigen, dass die Komplexität der gebührenrelevanten Mautdaten mit einem dynamischen Zeitbezug am Größten ist. Für diesen Fall werden auch noch zusätzlich dynamische Verkehrsdaten benötigt und in die Gebührenberechnung mit einbezogen.

Zusätzlich zu den in den Tabellen dargestellten Daten ist in allen Systemen die Erfassung einer Geräte-ID, bzw. des Fahrzeugkennzeichens zur Fahrzeugzuordnung notwendig.

#### 4.3.4. Transaktion

Bei der Transaktion werden für eine Abrechnung notwendige Daten von einem Fahrzeuggerät, bzw. Fahrzeugerfassungsgerät (Mautbaken) an ein zentrales Abrechnungssystem übermittelt. Durch die Transaktionsfunktion werden keine Daten gesammelt, alle erforderlichen Daten werden durch die Kategorisierungs- und Detektionsfunktion erfasst. Die Datenübertragung in ein zentrales Verrechnungssystem kann durch eine Fahrzeugeinheit oder eine Mautstation erfolgen.

#### 4.3.5. Enforcement

Enforcement erfüllt den Zweck des Erkennens und der Beweissicherung von Fahrzeugen, die ohne eine gültige Transaktion die Mautinfrastruktur nutzen (Sutter et al. 2006). Dazu ist eine Kategorisierung und Detektion von Fahrzeugen notwendig. Die in diesen beiden Funktionen erfassten Daten werden mit den Registrierungsdaten verglichen, und ermöglichen Rückschlüsse auf ungültige oder fehlende Transaktionen.

Da das Enforcement eine sehr wesentliche Rolle in einem Mautsystem spielt, wird in Kapitel 6 (Beschreibung ausgewählter elektronischer Mautsysteme) besonders darauf eingegangen. Es wird gezeigt, wie Enforcement in unterschiedlichen Systemen derzeit umgesetzt wird.

#### 4.3.6. Abgabeberechnung

Die Abgabeberechnungsfunktion ermittelt die fälligen Mautgebühren und stellt diese in Rechnung oder bucht sie von einem bestehenden Konto ab (Sutter et al. 2006). Die Daten zur Berechnung werden von der Transaktionsfunktion an die Abrechnungsstelle übermittelt. Es ist in dieser Funktion keine Mautdatenerfassung notwendig.

#### 4.3.7. Zusammenfassung

Die Analyse der notwendigen Daten in den Funktionen hat folgendes gezeigt: Registrierung, Kategorisierung und Detektion müssen aus externen Quellen (Nutzer, Sensoren, Fahrzeugeinheit) Daten beziehen. Transaktion, Enforcement und Abgabeberechnung bauen auf den ermittelten Daten der ersten 3 Funktionen auf.

Kategorisierung, Detektion und Enforcement (für Enforcement sind die Kategorisierungsfunktion und die Detektionsfunktion notwendig) sind somit jene Funktionen, die vom Aufbau der Straßeninfrastruktur und vom gewählten Mautkonzept abhängig sind. Aus diesem Grund werden in der weiteren Arbeit nur für diese Funktionen mögliche Datenerfassungstechnologien betrachtet.

Die Möglichkeiten der Datenerfassung in den drei Funktionen sind durch

- die möglichen Datenerfassungstechnologien,
- durch das angewandte Mautkonzept und
- durch den Aufbau der Straßeninfrastruktur beschränkt.

Im nächsten Kapitel wird die Datenerfassung für Mautsysteme betrachtet und darüber hinaus behandelt, welche Technologien für die Umsetzung von Detektions- und Kategorisierungsfunktion in den unterschiedlichen Mautkonzepten verfügbar sind. Dabei werden mögliche Einschränkungen durch die Straßeninfrastruktur des niederrangigen Netzes noch nicht berücksichtigt.

## 5. Basistechnologien zur Datenerfassung

In den folgenden Kapiteln wird auf die möglichen Datenerfassungstechnologien für Mautsysteme eingegangen. Ausgehend von der Beschreibung der Verkehrsdatenerfassung, die mehrere Erfassungsverfahren unterscheidet, werden für die in Mautsystemen notwendigen Basisdaten Technologien zur Fahrzeugerkennung und Lokalisierung analysiert. Dabei wird auf stationäre und mobile Erfassungstechnologien, sowie speziell auf Fahrzeuglokalisierungstechnologien eingegangen.

### 5.1. Verkehrsdatenerfassung

Die Aufgabe der Verkehrsdatenerfassung besteht darin, Kenngrößen an bestimmten, diskreten Messstellen zu erfassen, um Aussagen über die aktuelle Verkehrslage zu ermöglichen. Um eine entsprechende Qualität der Informationen zu gewährleisten, müssen folgende Aspekte beachtet werden (Vieweg 1999):

- Aktualität der bereitgestellten Informationen
- Vollständigkeit dieser Verkehrsinformationen
- Flächendeckung der erfassten Gebiete sowie
- Relevanz für die Fahrer und die automatisierte Weiterverarbeitung

Neben diesen Qualitätskriterien sind eine hohe Messqualität, und eine ausreichende Informationstiefe ebenfalls relevant (Vieweg 1999). Diese Kriterien müssen auch für Messdaten von Mautsystemen gelten.

Für die Erfassung relevanter Daten können nach Vieweg (1999) 3 Messverfahren unterschieden werden:

- Stationäre Erfassungsverfahren: an festen Standpunkten werden Verkehrsdaten erfasst.
- Mobile Erfassungsverfahren: Verkehrsgeschehen wird fahrzeugseitig erfasst
- Externe Erfassungsverfahren: Verkehr wird von außen betrachtet, z.B. durch Verkehrshubschrauber oder Satelliten möglich

Nicht alle dieser Messverfahren eignen sich für die Datenerfassung bei Mautsystemen. In den folgenden Kapiteln werden stationäre und mobile Verkehrsdatenerfassungsverfahren beschrieben, und deren Relevanz für Mautsysteme – im Speziellen für die Detektion, Kategorisierung und das Enforcement von Fahrzeugen analysiert.

Wie in Kapitel 4.3.2 gezeigt werden durch die Kategorisierungsfunktion Daten zur Fahrzeugklassifizierung erfasst (siehe Tabelle 14). Durch die Detektionsfunktion, die in Kapitel 4.3.3 besprochen wurde, erfolgt die Fahrzeugerkennung (Identifikation), wobei für eine Vergütung auch Zeitpunkt und Ort mitgespeichert werden. Für die Datenerfassung in den beiden Funktionen sind demnach folgende Primärdaten interessant:

- Identifikationsdaten
- Kategorisierungsdaten
- Zeitpunkt
- Ort

Zur Erfassung dieser Daten stehen unter anderem die in folgender Tabelle dargestellten Basistechnologien zur Verfügung, die unterschiedlich gut für die Anwendung in Mautsystemen geeignet sind und in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

	Induktionsschleifen	Radarsensoren	Laserscanner	Videobildverarbeitung	DSRC	GNSS/CN
<b>Identifikation</b>				✓	✓	✓
<b>Kategorisierung</b>	✓	✓	✓	✓		
<b>Zeitpunkt</b>				✓	✓	✓
<b>Ort</b>				✓	✓	✓

Tabelle 18: Basistechnologien zur Erfassung der Primärdaten

Induktionsschleifen, Radarsensoren und Laserscanner eignen sich primär zur Fahrzeugkategorisierung, wobei indirekt durch diese Datenerfassung auch Zeitpunkt und Ort erfasst werden können, was aber nicht den Hauptzweck dieser Technologien darstellt. Diese Technologien werden unter Kapitel 5.2 näher beschrieben. Über Videobildverarbeitung, DSRC (Dedicated Short Range Communication) und GNSS/CS (Global Navigation Satellite System / Cellular Network) kann eine Identifikation des Fahrzeugs erfolgen, sowie der Zeitpunkt und Ort der Detektion miterfasst werden. Diese Technologien werden ebenfalls in den folgenden Kapiteln genauer erläutert.

## 5.2. Stationäre Erfassungsverfahren

### 5.2.1. Induktionsschleifen

Induktionsschleifen sind Leiterschleifen die aus einer Drahtlitze mit mehreren Windungen bestehen, und werden als Sensoren in einer Fahrbahn verlegt. Diese Schleifen werden mit Wechselstrom gespeist wodurch ein elektromagnetisches Feld erzeugt wird. Das Feld ändert sich wenn ein Fahrzeug über diese Schleife fährt. Dabei wird die Schleifenfrequenz vergrößert und die Schleifeninduktivität bedämpft (die Änderung liegt für PKW bei 3%), wodurch ein Fahrzeug detektiert werden kann. Witterungseinflüsse wie Temperatur und Feuchtigkeit haben zwar Auswirkungen auf die Schleifeninduktivität, können aber automatisch kompensiert werden.

Bei einer hohen Schleifensensitivität können Stromleitungen im Schleifenbereich Störungen erzeugen, die die Messqualität beeinflussen. Bei zu geringer Schleifensensitivität können einspurige Fahrzeuge nicht erfasst werden. Auch der Abstand zwischen einem passierenden Objekt und der Schleife beeinflusst die Messqualität. Je größer der Abstand wird, desto geringer ist die Schleifenbedämpfung.

Induktionsschleifen eignen sich auch zur Geschwindigkeitsmessung, wofür aber 2 Schleifensysteme erforderlich sind. Moderne hochauflösende Systeme können mit entsprechenden Auswertungsverfahren mehrere Fahrzeugarten klassifizieren (Pkw, Lieferwagen, Lkw, etc.) (Paukerl 2004).

Mögliche Datenerfassung: Fahrzeugzählung, Geschwindigkeit (Fahrtrichtung), Fahrzeugklassifizierung

Induktionsschleifen können zwar prinzipiell für die eingeschränkte Fahrzeugklassifizierung in Mautsystemen eingesetzt werden. Ein wesentlicher Nachteil ist aber, dass Schleifensysteme zeitaufwendig in die Strasse eingebaut werden müssen, und außerdem nur nach bestimmten physikalischen Eigenschaften des Fahrzeugs (Länge, Größe) klassifiziert werden kann.

### 5.2.2. Radarsensoren

Radar (Radio Detection and Ranging) ist ein Verfahren, das hochfrequente elektromagnetische Mikrowellen abstrahlt, um Objekte berührungslos zu detektieren. Radarsysteme arbeiten in der Verkehrsdatenerfassung meist im Frequenzbereich von 1GHz bis 30GHz (Wellenlänge 30cm bis 1cm). Elektromagnetische Wellen werden nur von Objekten reflektiert, die größer als ihre Wellenlänge sind. Darum haben schlechte Witterungsverhältnisse keinen Einfluss auf Messungen. Grundsätzlich werden zwei Radarmessverfahren unterschieden (Paukerl 2004):

- Continuous Wave (CW) Radar: Hierbei wird ein kontinuierliches Signal konstanter Frequenz von einem Sender abgestrahlt. Durch die Dopplerverschiebung eines reflektierten Signals ist die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs bestimmbar. CW Radarsysteme können aber nur Fahrzeuge in Bewegung erfassen, was bei „Stop-and-Go“ Verkehr problematisch ist.
- Frequenz Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar: In diesem System wird ein linear frequenzmoduliertes Hochfrequenz-Signal verwendet. Dadurch sind FMCW Radargeräte in der Lage neben der Geschwindigkeit von Fahrzeugen, auch die Entfernung zu stehenden Objekten zu messen.

Mögliche Datenerfassung: Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Entfernung, Fahrzeugzählung  
Radarsensoren eignen sich für die Anwendung von Mautsystemen, um Fahrzeuge zu detektieren und die Entfernung zum Sensor zu bestimmen. Durch diese Information können weitere Datenerfassungseinheiten aktiviert werden, um von näher kommenden Fahrzeugen genauere zusätzliche Daten zu erfassen (z.B. Klassifizierung).

### 5.2.3. Laserscanner

Laserscanner arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie Radarsensoren mit dem Unterschied dass zur Abtastung der Umgebung Laserstrahlen eingesetzt werden. Diese Scanner werden bereits in bestehenden Mautsystemen zur Fahrzeugkategorisierung eingesetzt und können dabei folgende Daten erfassen: Breite, Höhe, Geschwindigkeit, Länge, Fahrtrichtung. Ein in der Praxis verwendeter Laserscanner der Firma Kapsch kann die zuvor genannten Daten erfassen. Das Gerät schafft eine Reichweite von 80m und kann einzelne Fahrzeuge mit einem Mindestseitenabstand von 50cm bzw. einem Längsabstand von 1,5m erkennen (Kapsch 2006a).

### 5.2.4. Videobildverarbeitung

Bei der Videobildverarbeitung werden Videobilder über eine Ausarbeitungssoftware erfasst und digital weiterverarbeitet. Dazu werden für die erfassten Bilder Bereiche im Bild definiert, in denen eine Auswertung stattfindet. Beispielsweise kann die Höhe eines Fahrzeugs zur Klassifizierung herangezogen werden, oder aber es wird der Bereich analysiert in dem sich die Nummernschilder befinden. Durch die Bewegung eines Fahrzeugs auf dem erfassten Video können aufgrund der definierten Bereiche die Fahrzeugklasse, die Geschwindigkeit, das Kennzeichen, etc. erfasst werden. Diese Technologie lässt sich für Verkehrszählung,

Stauerkennung, Nummernschilderkennung oder Fahrzeugkategorisierung verwenden (Hirschmann 2005).

Die Videobildverarbeitung eignet sich besonders für den Einsatz in offenen und geschlossenen Mautsystemen. Durch die Möglichkeit Nummernschilder zu erkennen, können Fahrzeuge lokalisiert und ihnen Gebühren angelastet werden, ohne dass eine Kommunikationseinheit im Fahrzeug angebracht werden muss. Für das Enforcement ist die Videobildverarbeitung ebenfalls sehr wichtig. Fahrzeuge die die Mautpflicht verletzen können so detektiert, und über die Kennzeichenerkennung bestraft werden. Außerdem lässt sich die Videobildverarbeitung zur Fahrzeugkategorisierung einsetzen. Die Videobildverarbeitung ist für Detektion, Kategorisierung in offenen und geschlossenen, und Enforcement in allen Mautsystemen relevant. Da Enforcement auch für autonome Mautsysteme notwendig ist, findet die Videobildverarbeitung in allen Mautkonzepten (offen/geschlossen/autonom) Anwendung.

### 5.2.5. DSRC

DSRC steht für Dedicated Short Range Communication und bezeichnet Systeme für den Datenaustausch zwischen Fahrzeugen und einer straßenseitigen Infrastruktur. Für DSRC sind folgende Komponenten notwendig (ITU – International Telecommunication Union Recommendation R M 1453, 2000):

- Fahrzeugeinheit (On-board equipment - OBE): Die Fahrzeugeinheit wird in Nähe des Armaturenbretts an der Windschutzscheibe abgebracht und dient der Kommunikation mit der straßenseitigen Kommunikationseinheit. Die OBE ist meist so aufgebaut, dass Fahrzeuglenker Einstellungen am Gerät vornehmen können.
- Straßenseitige Einheit (Roadside equipment - RSE): Die RSE Einheit wird über oder entlang einer Straße montiert und kommuniziert mit der Fahrzeugeinheit über Funksignale.

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Kommunikationszone, in der RSE und OBE einen Datenaustausch durchführen können.

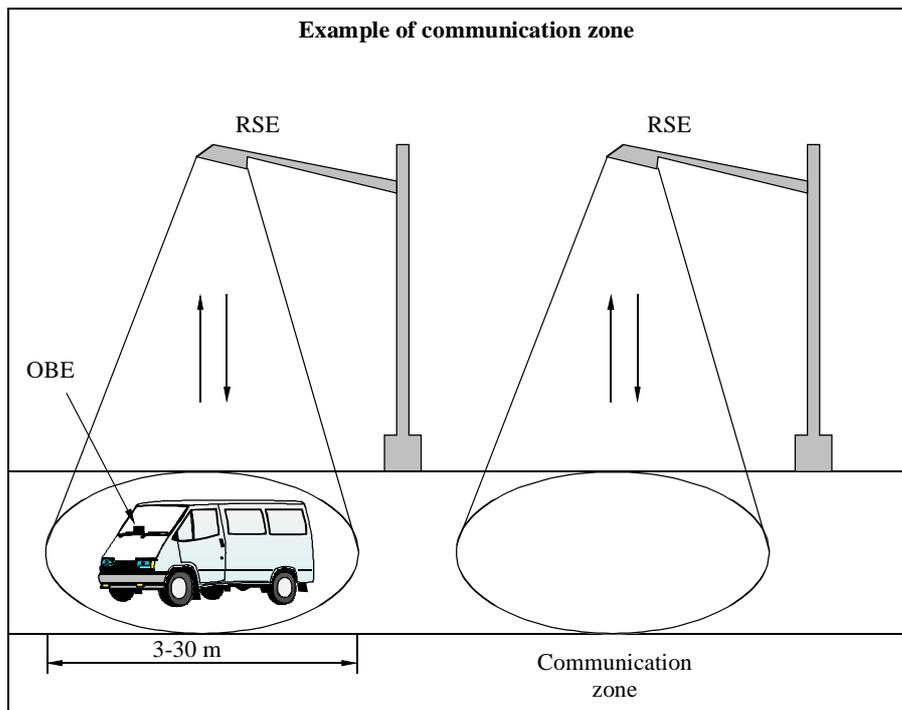


Abb. 9: DSRC Kommunikation zwischen OBE und RSE (ITU Recommendation R M 1453, 2000)

Durch diesen Datenaustausch zwischen OBE und RSE kann ein Fahrzeug lokalisiert werden, weiters lassen sich auch Informationen über die Verkehrssituation ableiten (ITU Recommendation R M 1453, 2000). DSRC eignet sich, neben der Videobildverarbeitung, besonders für die Lokalisierung von Fahrzeugen in offenen und geschlossenen Mautsystemen, deshalb werden die unterschiedlichen Arten von DSRC Systemen in Kapitel 5.4.1 noch näher erläutert.

### 5.3. Mobile Erfassungsverfahren - Floating Car Data (FCD)

Im Gegensatz zur stationären Sensorik, wird bei der Erfassung von Floating Car Daten das Fahrzeug als Messinstrument verwendet. Dabei senden Fahrzeuge im fließenden Verkehr in zyklischen Abständen ihre aktuellen Positionsdaten. Aus diesen Daten kann ein aktuelles Bild der Verkehrssituation generiert werden. Dabei wird aus den regelmäßig folgenden Positionsdaten die zurückgelegte Wegstrecke berechnet, und dies ermöglicht Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit in einem bestimmten Streckenabschnitt (Paukerl 2004).

Floating Car Daten ermöglichen eine dynamisch zeitabhängige Gebührenerhebung, bei der Informationen über die aktuelle Verkehrssituation in die Abgabeberechnung einfließen.

### 5.4. Fahrzeuglokalisierung in elektronischen Mautsystemen

Die Fahrzeuglokalisierung kann in Mautsystemen auf 2 Arten erfolgen. Entweder durch ortsfeste Stationen (Mautbaken), bei denen ein Fahrzeug detektiert wird, oder aber das Fahrzeug erkennt autonom seine Position. Die ortsfeste Lokalisierung kommt für offene und geschlossene Mautsysteme in Frage und basiert in heutigen Systemen auf der DSRC Technologie oder auf Videobildverarbeitung. In autonomen Systemen übernimmt das Fahrzeug (die OBU) über GNSS/CN (Global Navigation Satellite System / Cellular Network) die Aufgabe der Lokalisierung. Die videobasierte Lokalisierung erfolgt über die Videobildverarbeitung und wurde bereits in Kapitel 5.2.4 besprochen, sie wird in diesem Kapitel nicht weiter behandelt. Die beiden auf Funkkommunikation angewiesenen

Lokalisierungstechnologien (DSRC, GNSS/CN) haben Vor- und Nachteile, die bei der Anwendung in offenen/geschlossenen/autonomen Systemen unterschiedlich zum Tragen kommen. Um in weiterer Folge ihren Einsatz in Mautsystemen auf dem niederrangigen Straßennetz besser evaluieren zu können, ist eine nähere Betrachtung dieser Technologien notwendig.

DSRC und GPS/GSNN werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert. Als Basis für die Erläuterung und den Vergleich der Technologien, wird eine Studie von Juan Guillerma Jordán (2001) herangezogen, die die beiden Systeme für die Anwendung in elektronischen Mautsystemen (EFC – Electronic Fee Collection) vergleicht. Weitere Quellen werden im Text zitiert.

## 5.4.1. DSRC Technologien

### 5.4.1.1. Radiofrequenztechnologie

Die Radiofrequenztechnologie arbeitet in einem Frequenzbereich von 3kHz bis 300GHz, wobei in der hier folgenden Betrachtung der DSRC Technologie nur der Bereich 3kHz bis 1GHz relevant ist. Radiofrequenzsignale sind ohne direkte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger übertragbar, wobei sich bei fehlender freier Sicht die Übertragungsverluste verstärken. Außerdem können Metalle nicht durchdrungen werden, weshalb bei einer Anwendung in einem EFC System die Kommunikation zwischen straßenseitiger Infrastruktur (RSE – Road Side Equipment) und einer im Fahrzeug befindlichen Einheit (Tag oder OBU) durch das Glas der Windschutzscheibe oder über eine externe Antenne erfolgen muss. Der Datenaustausch kann bei metallbeschichteten Windschutzscheiben problematisch sein, da diese Beschichtung das Signal um bis zu 40dB abschwächen kann.

Bei den als Fahrzeugeinheit verwendeten Radiofrequenz (RF) Tags wird grundsätzlich zwischen passiven und aktiven Tags unterschieden. Passive Tags haben keine eigene Energieversorgung und sind dadurch von dem Signal der RSE als Energiequelle abhängig. Weiters müssen Sie das empfangene Signal modulieren und reflektieren, um eine Kommunikation zu ermöglichen. Diese Art der Rückübertragung wird Backscatter-Transmission genannt. Das Backscatter System (passiver Tag als Transponder) hat keinen eigenen Trägersignaloszillator. Das hat zur Folge, dass der Tag nur ein kontinuierliches, unmoduliertes Signal senden kann. Dabei werden die zu sendenden Daten auf das zuvor empfangene Signal aufmoduliert und zurückgesendet. (ITU-R M 1453, 2000). Da passive Tags wie bereits erwähnt ohne Energieversorgung auskommen müssen, können nur die hartcodierten Daten vom Tag gelesen werden, ein Schreiben und Speichern neuer Informationen ist nicht möglich.

Aktive Tags besitzen eine eigene Energieversorgung, was das Lesen und Schreiben von Daten auf einen Tag ermöglicht. Sie sind wesentlich teurer und komplexer als passive Tags, bieten aber auch mehr Möglichkeiten und können z.B. auch Smartcards integrieren. Dies gestattet mehrere Applikationen gleichzeitig auf einem Tag laufen zu lassen. Es ist dadurch z.B. möglich gleichzeitig eine Abrechnungapplikation für eine private Parkgarage und das öffentliche Mautsystem mit einem Tag zu verwalten.

RF Tags können im voll-duplex oder halb-duplex Übertragungsverfahren arbeiten. Voll-duplex ermöglicht das gleichzeitige Übertragen von Informationen in beide Richtungen (z.B. Telefon), während bei einer halb duplex Übertragung die Information nicht gleichzeitig in beide Richtungen fließen kann (z.B. Amateurfunk). Wird von der RSE und der OBU die gleiche Frequenz genutzt, so muss das halb-duplex Verfahren angewandt werden, um Interferenzen zu vermeiden. Ein voll-duplex Betrieb ist nur möglich wenn für den Uplink – dies ist die Kommunikation von der OBU zur RSE – und den Downlink – Datenübertragung von der RSE zur OBU – unterschiedliche Frequenzkanäle zur Kommunikation verwendet

werden. Passive Tags können nur halb-duplex betrieben werden, da sie auf ein Empfangssignal „warten“ müssen, auf das sie dann antworten können.

Die RF Übertragung wird durch Reflexionen beeinflusst. Ein Empfangssignal ist die Summe aus dem direkten Signal und mehreren phasenverschobenen Signalen mit eigenen Amplituden und Phasen. Haben diese phasenverschobenen Signale eine negative Phase im Vergleich zum Referenzsignal, so wird dieses abgeschwächt oder sogar ausgelöscht. Dieser Effekt wird Multipathpropagation loss (Mehrwegausbreitungsverlust) genannt und ist schwer einzuschätzen, da er sich ständig, abhängig von allen reflektierenden Objekten in der Umgebung (Autos, Gebäude, Boden, usw.) ändert.

RF Interferenzen entstehen, wenn unerwünschte Signale im Frequenzbereich eines Empfängers auftreten. Kommunikationssignale und unerwünschte Signale werden dabei überlagert. Auch der Effekt der Intermodulation, der durch Abweichungen und Toleranzen von Komponenten entsteht, kann bei Empfängern auftreten. Dabei werden im Empfänger bei der Modulation des Signals auch unerwünschte Signalteile erzeugt die zu Störungen führen können.

Radiofrequenzen können bei entsprechender Leistung, Frequenz und Dauer der Bestrahlung dem Menschen schaden. Darum gibt es von Standardisierungs-Einrichtungen Vorschriften für die maximale Strahlungsleistung in bestimmten Frequenzbereichen. Die folgende Tabelle zeigt diese Regelungen der 3 Normungsgremien ICNIRP, CENELEC und IEEE.

ICNIRP		CENELEC		ANSI / IEEE	
f [MHz]	S(W/m <sup>2</sup> )	f [MHz]	S(W/m <sup>2</sup> )	f [MHz]	S(W/m <sup>2</sup> )
10-400	2	10-400	2	3-30	20-11
				30-100	10-0.2
				100-300	0.2
400-2000	f/200	400-2000	f/200	300-3000	f/1500
2000-300000	10	2000-15000	10	3000-15000	f/1500
		15000-300000	0.0000667 · f	15000-300000	10

Tabelle 19: Erlaubte Spektrale Leistungsdichte S in unterschiedlichen Frequenzbereichen (Jordán 2001)

#### 5.4.1.2. Mikrowellentechnologie

Mikrowellen (MW) und RF Wellen sind einander in ihren Eigenschaften sehr ähnlich. MW liegen in einem höheren Frequenzbereich, wodurch sich auch einige Unterschiede zu RF ergeben. Je höher die Frequenz eines Signals ist, desto höher werden die Ausbreitungsverluste im freien Raum. Dieser Effekt wirkt sich bei MW stärker als bei Radiowellen aus. Aufgrund der kürzeren Wellenlängen steigt auch die Signaldämpfung durch wetterabhängige Faktoren wie Wasser oder Wasserdampf an.

Ein Vorteil der Mikrowellentechnologie ist die Verfügbarkeit höherer Bandbreiten, dies ermöglicht auch die Umsetzung komplexer Applikationen. Außerdem wird der MW Bereich weniger stark von elektromagnetischen Störungen beeinflusst als der RF Bereich. Ein weiterer Vorteil ist die kleinere Bauweise von Antennen und dass diese besser gerichtet werden können.

#### 5.4.1.3. Infrarottechnologie

Infrarotwellen (IR) benötigen Sichtverbindung damit eine OBU mit der RSE kommunizieren kann. Es ist aber auch möglich, dass eine Verbindung über Reflexionen des Signals aufgebaut werden kann. Da IR keine lichtundurchlässigen Objekte durchdringen kann, muss auch bei IR-DSRC die Fahrzeugkommunikation durch das Glas der Windschutzscheibe

erfolgen. Wie auch bei Radiofrequenzen wirkt sich eine Metallbeschichtung der Glasscheibe negativ auf die Signalstärke aus, wobei die Dämpfung geringer ausfällt und nur bis zu 7dB betragen kann. Für EFC Applikationen werden Infrarotwellen inkohärent angewandt, d.h. das Infrarotsignal hat eine Spektralweite von 50 bis 100nm und ist im Gegensatz zu einem Infrarot Laser nicht phasengleich.

IR ermöglichen hohe Datenübertragungsraten da das Infrarot Spektrum im höheren Frequenzbereich angesiedelt ist und dort große Bandbreiten zur Verfügung stehen. Ausbreitungsverluste sind jedoch noch stärker als bei RF und MW, wie auch die Signaldämpfung durch schlechte Witterungsverhältnisse. Hierbei wird das Signal besonders durch Nebel stark abgeschwächt. Vorteilhaft hingegen ist die Unempfindlichkeit von IR gegen Interferenzen.

Die Regelungen zur erlaubten Leistungsdichte von IR sind wesentlich lockerer als bei den zuvor besprochenen RF- und MW-Technologien, es sind wesentlich höhere Signalleistungen erlaubt. Außerdem ist keine zusätzliche Genehmigung für die Verwendung des Frequenzbereichs notwendig.

## 5.4.2. GNSS/CN Technologie

GNSS/CN (Global Navigation Satellite System / Cellular Network) Systeme nutzen satellitengestützte Positionierungs- und Navigationssysteme für die Lokalisierung von Fahrzeugen am Straßennetz, zur Berechnung der zurückgelegten Strecken und der einzuhebenden Gebühren. Satelliten-Navigationssysteme können nur Signale in eine Richtung – vom Satelliten zum Empfänger auf der Erde – übertragen. Deshalb ist ein zweites Netzwerk für den Datenaustausch mit einem Kontrollzentrum für die Verrechnung notwendig. Dafür werden Mobilfunknetze wie das GSM-Netz oder das im Aufbau befindliche UMTS Netz verwendet.

Der große Vorteil dieser Technologie ist der geringe Aufwand an straßenseitiger Infrastruktur, was dem Betreiber eines EFC Systems immense Kosten spart. Oft ist es gar nicht möglich RSE aufgrund von Platzmangel, oder wegen anderer Gründe zu installieren.

GNSS/CN Systeme erfassen die zurückgelegte Strecke im gesamten Straßensystem, die als Grundlage für die Gebührenerhebung herangezogen wird. Eine Anpassung der bemaßten Zone ist ohne Infrastrukturmaßnahmen möglich.

Ein weiterer Aspekt für die Leistung eines GNSS/CN Systems ist die Präzision bei der Fahrzeuglokalisierung. Es darf nicht zu einer Gebührenverrechnung kommen wenn ein Fahrzeuglenker auf einer nicht gebührenpflichtigen Straße fährt. Derzeit stehen für GNSS/CN Systeme das amerikanische GPS (Global Positioning System) und das russische GLONASS (Globales Navigations-Satelliten-System) zur Verfügung. Das GPS System erreicht eine Positionierungsgenauigkeit von 10-15m.

Ein weiteres System, das in Zukunft für autonome Mautsysteme in Frage kommt, ist das europäische Satellitennavigationssystem GALILEO. Das System soll bis 2008 in Betrieb gehen und wird dabei folgende Service-Dienste anbieten (Europäische Kommission 2002):

OS – Open Access Service: Das Service wird Positionierungsinformationen für alle Nutzer frei zur Verfügung stellen. Das Service belegt 2 Frequenzbänder, wobei Empfängern, die beide Signale verarbeiten können, eine höhere Positionierungsgenauigkeit zur Verfügung steht.

CS – Commercial Service: Dieses Service ist für Applikationen vorgesehen, die mit der Auflösung des OS nicht auskommen. Dabei wird das offene Service um 2 weitere Signale

ergänzt, die verschlüsselt übertragen werden, um eine Kontrolle durch Dienstanbieter (Service Provider) zu ermöglichen. Um ein CS zu nutzen, muss der Empfänger einen Schlüssel (access-protection key) gespeichert haben.

SoL – Safety of Life Service: Nutzern des SoL Service steht das Navigationssystem mit einer höheren Fehlerfreiheit zur Verfügung. Dies ist speziell für sicherheitskritische Anwendungen in Schifffahrt, Luftfahrt oder Eisenbahntransport erforderlich. Das SoL Service wird dabei dieselbe Auflösung wie das OS bieten.

PRS – Public Regulated Service: Das PRS ist so aufgebaut, dass nur öffentliche Einrichtungen wie Polizei, Luftraumüberwachung, Rettungsdienste und Militär darauf Zugriff haben, und wird ebenfalls durch Verschlüsselungsalgorithmen geschützt. Das Signal des PRS Service ist dabei besonders darauf ausgelegt, dass es vor Störungen (jamming) und Manipulation (spoofing) geschützt wird.

Die Auflösung der Galileo Services wird in folgender Tabelle dargestellt.

	Open Service (OS)	Commercial Service (CS)		Public Regulated Service		Safety of Life Service (SoL)
		Global	Local	Global	Local	
<b>Abdeckung</b>	Global	Global	Local	Global	Local	Global
<b>Genauigkeit</b> -horizontal (h) -vertical (v)	h=4m v=8m (zwei Frequenzbänder) h=15 v=35 (ein Frequenzband)	<1m (zwei Frequenzbänder)	<10cm (mit zusätzlichen lokalen Signalen)	h=6,5m v=12m	1m (mit zusätzlichen lokalen Signalen)	4-6m (zwei Frequenzbänder)
<b>Verfügbarkeit</b>	99,8%	99,8%		99-99,9%		99,8%
<b>Integrität</b>	Nein	Als zusätzliches Service		Ja		Ja

Tabelle 20: Auflösung der unterschiedlichen Galileo Services (Europäische Kommission 2002)

Es zeigt sich, dass bei einer Verwendung von 2 Frequenzbändern bereits im offenen System eine deutlich genauere Auflösung als bei GPS möglich ist. Ob die Auflösung von GPS für Mautsysteme am niederrangigen Straßennetz ausreicht, oder ob Galileo die nötigen Anforderungen erfüllt, steht erst später zur Diskussion.

Satellitennavigationssysteme verwenden die Spread-spektrum Technik zur Signalübertragung. Dadurch können mehrere Signale gleichzeitig im selben Frequenzband übertragen werden, außerdem steigt der Schutz vor Interferenzen.

**Anmerkungen zur Fahrzeugeinheit (OBU):**

Die Fahrzeugeinheiten für GNSS/CN Systeme benötigen im Vergleich zu DSRC OBUs wesentlich mehr Leistung und müssen deshalb auch an die Stromversorgung des Fahrzeugs angeschlossen werden. Außerdem ist eine Antenne erforderlich und zusätzliche Verkabelung muss verlegt werden. Für eine Installation einer solchen Fahrzeugeinheit ist mit einem Aufwand von 2-4h zu rechnen (Oehry 2004).

Durch das Diskriminierungsverbot der EU ist es verboten, dass Geräte vor der Benutzung des abgabepflichtigen Straßennetzes im Voraus beschafft und in einer Werkstätte eingebaut werden müssen (Sutter et al. 2006). Genau das trifft auf GNSS/CN OBUs zu. Außerdem wäre ein Einbau für Gelegenheitsnutzer oder Ausländer nicht zumutbar. Dadurch muss aber

bei Verwendung dieser Technologie im Mautsystem eine zweite, manuelle Möglichkeit bestehen das System ohne OBU zu nutzen. Dieser manuelle Systemteil kann für einen Mautbetreiber sehr kostspielig werden, da ein Kunde rund um die Uhr die Möglichkeit haben muss, eine Fahrt zu buchen. Außerdem darf der Buchungsvorgang nicht mehr als 10min beanspruchen, da sonst das Mautsystem eine Handelsbarriere darstellt, die nach Europäischem Recht nicht erlaubt ist (Oehry 2004).

### 5.4.3. Standardisierung der Basistechnologien

DSRC Systeme sind von verschiedenen Standardisierungsgremien standardisiert worden, wobei zwischen den europäischen, asiatischen und japanischen Standards zu unterscheiden ist. ASTM (American Society for Testing and Materials) definiert für DSRC Systeme einen Standard für den 915MHz Bereich<sup>17</sup> und einen weiteren für den 5,8GHz Bereich<sup>18</sup>. Das Technische Komitee 278 (TC278), Road transport and traffic telematics, der CEN (Comité Européen de Normalisation) definiert einen 5,8GHz Standard<sup>19</sup>, der auch von ISO akzeptiert wird. Der japanische Standard<sup>20</sup> der ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) basiert ebenfalls auf der 5,8GHz Technologie, ist aber nicht mit dem CEN Standard kompatibel.

IR Technologien für EFC Systeme in Europa basieren auf dem internen technischen Bericht ITR N526<sup>21</sup> der CEN, der durch die Aktivitäten des TC278 entstanden ist. Die Standardisierungsaktivitäten wurden bereits 1996 gestoppt, da zu dieser Zeit nur ein einziger Lieferant für IR basierte EFC Systeme existierte.

Für den Einsatz von GNSS/CN Systemen gibt es von der CEN ebenfalls einen Standard<sup>22</sup>, wobei seit 1998 aufgrund des steigenden internationalen Interesses auch ISO mit Aufgaben betraut wurde. Die Standards der Satellitennavigationssysteme GPS<sup>23</sup> und GLONASS sind durch die Hersteller vorgegeben und werden weltweit akzeptiert.

### 5.4.4. Vergleich der Technologien

#### Signal-Rausch-Verhältnis (SNR – Signal Noise Ratio):

Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) definiert das Verhältnis einer Signalleistung zur mittleren Rauschleistung und dient zur Qualitätsbeurteilung eines Kommunikationspfades. Dies spielt bei der leitungslosen Signalübertragung wie sie zwischen OBU und RSE stattfindet eine wesentliche Rolle, da die meisten Modulationsverfahren für eine funktionierende Signalübertragung ein SNR von mindestens 13dB benötigen, um eine Bit-Error-Rate von  $10^{-6}$  zu gewährleisten. Dieser Wert muss in der Praxis noch weiter erhöht werden, damit Probleme mit Signalschwankungen und wetterbedingten Signaldämpfungen vermieden werden können. Geht man von einer Kommunikationszone von 10m aus, so zeigt

<sup>17</sup> E2158-01 Standard Specification for Dedicated Short Range Communication (DSRC) Physical Layer Using Microwave in the 902 to 928 MHz Band - <http://www.astm.org> (ASTM 2006)

<sup>18</sup> E2213-03 Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems — 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - <http://www.astm.org> (ASTM 2006)

<sup>19</sup> EN 12253:2004 – Road transport and traffic telematics - Dedicated short-range communication - Physical layer using microwave at 5,8 GHz – <http://cenorm.be> (CEN 2006)

<sup>20</sup> STD-T55 - Dedicated Short Range Communication for Transport Information and Control System, Ver. 1.0, (H9.11.27) – <http://www.arib.or.jp/english/>

<sup>21</sup> Dedicated Short Range Communications (DSCR) – Internal Technical Report (ITR) N526, Draft prENV on DSRC Physical Layer using Infrared 850nm – <http://cenorm.be> (CEN 2006)

<sup>22</sup> Application requirements for Electronic Fee Collection (EFC) Systems based on GNSS/CNd

<sup>23</sup> Global Positioning System, Standard Positioning Service Signal Specification, 2nd e., Dep. Defense, Washington, DC, June 1995

sich, dass durch Ausbreitungsverluste, Windschutzscheibendämpfung und zusätzliche Dämpfungsverluste (z.B. schlechte Witterungsbedingungen) die RF- wie auch die MW-Technologien knapp an den standardisierten Signalleistungsgrenzen operieren müssen. Es ist also nicht einfach möglich die Signalleistung zu erhöhen, da dadurch die spektrale Leistungsdichte überschritten wird. Das Problem ist bei MW stärker ausgeprägt als bei RF, da die Dämpfungsverluste im MW Bereich größer sind.

Bei passiven Tags sind die Ausbreitungsverluste noch größer, da das Ausgangssignal nach Modulation auch wieder an den Ursprung zurück übertragen wird.

S(W/m <sup>2</sup> )			
Frequenz	ICNIRP	CENELEC	ANSI/IEEE
915MHz	5	5	0.61
2.45GHz	10	10	1.63
5.8GHz	10	10	3.86

Tabelle 21: Max. Leistungsdichte bei den standardisierten DSRC Frequenzen (Jordán, 2001)

Im Infrarot Spektrum sind die Ausbreitungsverluste wesentlich höher als bei den beiden zuvor diskutierten Technologien, jedoch sind die maximal erlaubten Leistungen ebenfalls wesentlich höher. Die Leistungsdichte der Sonne liegt im IR Bereich von 850±50nm bei 100W/m<sup>2</sup> und ist damit deutlich über den normierten Werten der anderen Technologien. Diese Leistungsdichte gilt nicht als gefährlich und wird in der IEC 825 (International Electrotechnical Commission) Regulierung auf diesen Wert begrenzt. Da typische EFC Anwendungen weit unter diesem Grenzwert arbeiten, können zu große Dämpfungsverluste durch Steigerung der Signalleistung leichter als bei MW oder RF kompensiert werden.

GNSS/CN Technologien arbeiten mit dem Frequenzspreizverfahren, bei dem das Signal auf eine große Bandbreite verteilt wird. Dadurch sinkt die Energiedichte des Nutzsymbols und die Übertragung funktioniert auch noch wenn das Signal im Hintergrundrauschen verschwindet. Die Problematik hierbei ergibt sich nicht aus der maximalen Leistungsdichte des Signals, sondern aus der Tatsache, dass für den Lokalisierungsvorgang mindestens 3 Satelliten mit Sichtverbindung notwendig sind. Die Lokalisierung von Objekten wird beispielsweise durch Signalabschattungen in Tunnels, Städten, bzw. im Gebirge beeinträchtigt.

### Kommunikationszone:

Der Kommunikationsbereich eines DSRC Systems ist durch die Signalstärke und das Signal-Rausch-Verhältnis limitiert und stellt den Bereich dar in dem eine OBU mit der RSE kommunizieren kann. Eine übliche Kommunikationszone für passive Tags hat eine Länge von 4-7m. Die Länge des Bereichs ist ein wichtiger Faktor des Systems und legt die maximal mögliche Geschwindigkeit, und dadurch den größtmöglichen Fahrzeugdurchsatz fest. Je größer (länger) die Kommunikationszone ist, umso höhere Geschwindigkeiten sind möglich. Außerdem können mehr Transaktionen zwischen Fahrzeug und Infrastruktur stattfinden.

Während IR Technologien einen Kommunikationsbereich von bis zu 100m erreichen können, sind RW- und MW- auf 30m beschränkt. Passive Tags der RW- und MW- sind normalerweise auf eine Kommunikationszone von max. 10m beschränkt.

Die zwei von Kapsch vertriebenen DSRC Funkbaken im 5,8GHz Bereich haben eine elliptische Kommunikationszone von 5m Länge x 7m Breite (BHC1210-B) bzw. 6m x 3m (BHC1310-B) bei einer typischen Montagehöhe von 5,5m (Kapsch 2002, S.5), und werden im österreichischen LKW-Mautsystem eingesetzt. Das Beispiel zeigt das eine relativ kleine Kommunikationszone im Vergleich zur möglichen Größe ausreicht, um ein funktionstüchtiges System zu gewährleisten.

**Wiederbenutzungsabstand:**

Der Wiederbenutzungsabstand ist der kürzest mögliche Abstand zwischen 2 für DSRC vorgesehenen Mautbaken, um Interferenzen zwischen den beiden Systemen zu vermeiden. Man unterscheidet 4 Arten des Wiederbenutzungsabstands, die sich abhängig von der Übertragungsrichtung und der Quelle der Störung ergeben. Bei einem Downlink vom RSE zur OBU kann ein zweiter Downlink vom nächstgelegenen Mautbaken eine Interferenz hervorrufen. Es ist aber auch möglich, dass ein Uplink von der OBU zur zweiten RSE eine Störung des Signals verursacht. Die folgende Tabelle zeigt die Wiederbenutzungsdistanzen für zwei standardisierte DSRC Technologien.

Wiederverwendungsabstand			
Interferenz von	auf	MW bei 5,8GHz	IR bei 850nm
Downlink	Uplink	330m	80m
Downlink	Downlink	35m	115m
Uplink	Uplink	260m	Vernachlässigbar
Uplink	Downlink	Vernachlässigbar	175m

Tabelle 22: Wiederverwendungsabstand für unterschiedliche DSRC Technologien (Jordán, 2001)

**Bitrate:**

Ein wesentlicher Faktor für DSRC Systeme ist die mögliche Datenübertragungsrate. Je höher die Bitrate ist, umso mehr Transaktionen können zwischen OBU und RSE stattfinden, da die Dauer einer Transaktion sinkt, wenn man von einer konstanten Nachrichtenlänge ausgeht. Außerdem können bei kurzer Transaktionszeit mehr Versuche unternommen werden, in der Kommunikationszone eine erfolgreiche Verbindung zwischen OBU und RSE aufzubauen. Dadurch steigt wiederum die Zuverlässigkeit des Systems. Die Bitrate wurde für DSRC Systeme in Standards definiert, was folgende Tabelle zeigt.

Bitrate (kbps – Kilobits per Second)		
Technologie	Downlink	Uplinkg
RF – 915MHz	500kbps	500kbps
MW – 5,8GHz, CEN Standard (EU)	500kbps	250kbps
MW – 5,8GHz, ARIB Standard (JP)	1024kbps	1024kbps
IR – 805nm	500kbps	125kbps

Tabelle 23: Bitrate für unterschiedliche DSRC Technologien (Jordán, 2001)

Typischerweise werden bei einer Mautapplikation wie beim österreichischen Lkw-Mautsystem (siehe Kapitel 6.1) ca. 100Byte für die gesamte Kommunikation übertragen, wobei der gesamte Kommunikationsvorgang im Bereich von 20-30ms dauert (Ambrosch 2006). Bei einer Kommunikationszone von 5m und einer Geschwindigkeit des Fahrzeugs von 120km/h (3,3cm/ms) könnte somit die Übertragung theoretisch 150-mal durchgeführt werden.

**Systemeignung:**

DSRC Systeme eignen sich für den Einsatz von offenen und geschlossenen Mautsystemen. Dazu werden Mautbaken, die mit dieser Kommunikationstechnologie ausgestattet sind auf den Mautstraßenabschnitten montiert und zur Gebühreneinhebung verwendet. Solche Systeme sind in ganz Europa, auch am österreichischen Autobahnnetz im Einsatz.

GNSS/CN Systeme stechen besonders dadurch hervor, dass keine Mautbalken für eine Kommunikation mit der Fahrzeugeinheit notwendig sind, und die gespeicherten Lokalisierungsdaten über GSM an die Mautzentrale übermittelt werden. Diese Systeme finden deshalb in autonomen Mautsystemen Anwendung.

## 5.4.5. Rechtliche Einschränkungen

Für die Fahrzeuglokalisierung wären natürlich auch noch weitere Technologien, wie das z.B. das auf Eurobalisen basierende ETCS (European Train Control System) System im Schienenverkehr, interessant. Durch die Europäische Union wurde aber am 29.04.2004 eine Richtlinie zur Interoperabilität elektronischer Mautsysteme in der Gemeinschaft erlassen (2004/52/EG), wodurch die technischen Lösungen in Artikel 2 folgendermaßen eingeschränkt werden (Europäische Union 2004):

(1) Alle neuen elektronischen Mautsysteme, die ab dem 1. Januar 2007 in Betrieb genommen werden, nutzen zur Mautabwicklung eine oder mehrere der folgenden Techniken:

- a) Satellitenortung;
- b) Mobilfunk nach der GSM/GPRS-Norm (GSM TS 03.60/23.060);
- c) Mikrowellentechnik (5,8 GHz).

Diese Richtlinie bezieht sich auf elektronische Mautsysteme, für die ein Einbau einer Fahrzeugeinheit erforderlich ist. Aus diesem Grund wurden in den vorherigen Kapiteln nur die DSRC Lokalisierung und die autonome Lokalisierung von Fahrzeugen betrachtet. Es besteht weiterhin die Möglichkeit andere Technologien für Mautsysteme einzusetzen, jedoch muss zusätzlich die Möglichkeit bestehen, das System über oben genannte Technologien zu nutzen.

## 6. Beschreibung ausgewählter elektronischer Mautsysteme

In diesem Kapitel werden vier existierende elektronische Mautsysteme ausgewählt, um den Ablauf des Nutzenvorgangs und den Aufbau vorhandener Einrichtungen für Kategorisierung, Detektion und Enforcement zu beleuchten. Dadurch soll gezeigt werden, wie derzeit die Funktionen von Mautsystemen mit den beschriebenen Erfassungs- und Lokalisierungstechnologien umgesetzt werden. Die Auswahl wurde so getroffen, dass ein möglichst breites Spektrum der Basiskonzepte und möglicher Technologien abgedeckt ist.

### 6.1. LKW-Mautsystem in Österreich

Das LKW-Mautsystem in Österreich ist seit 1. Jänner 2004 in Betrieb und für die Mauteinhebung von Fahrzeugen über 3,5 Tonnen höchstzulässigen Gesamtgewicht (hzG) errichtet worden. Mit dem verursachergerechten Mautentgelt soll der Betrieb, Erhalt und Neubau des österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetzes finanziert werden. Das Mautsystem basiert auf der Dedicated Short Range Communication (DSRC) Technologie im Mikrowellenbereich (5,8GHz) und entspricht den Standards nach CEN TC278 (ASFINAG 2006a). Die Tariffhöhe ist von der Achsenzahl abhängig und beträgt zwischen 0,130€/km für 2 Achsen und 0,273€/km für 4 oder mehr Achsen. (ASFINAG 2006c)

#### 6.1.1. Aufbau

Das österreichische hochrangige Straßennetz wurde in einzelne Streckenabschnitte unterteilt, wobei sich die Tariffhöhe der Segmente aus der Länge des Abschnittes und der Achszahl des LKW ergibt. Innerhalb der Streckenabschnitte wurden Mautbaken errichtet, an denen Funkantennen für die Kommunikation zwischen der Fahrzeugeinheit (OBU – diese wird in Österreich „GO-Box“ genannt) und Mautinfrastruktur angebracht sind. Diese Bakten dienen zur Einhebung der Mautgebühren. Beim LKW-Mautsystem handelt es sich um ein offenes System, da die Mautbaken nicht an den Auf- und Abfahrten auf das hochrangige Straßennetz angebracht wurden, sondern immer zwischen den Anschlussstellen liegen. Die verwendete Technologie des Systems (DSCR im 5,8MHz Bereich) ist so konzipiert, dass weder ein Anhalten, noch die Verringerung der Geschwindigkeit notwendig ist, um die Kommunikation zwischen OBU und Bakten sicherzustellen. Außerdem hat ein Spurwechsel keinen negativen Einfluss auf die Gebühreneinhebung, weshalb man hier auch von einem free flow multilane System spricht (ASFINAG 2006a).

Für das gesamte hochrangige Straßennetz wurden etwa 400 Mautportale aufgestellt, wobei die meisten beide Richtungsfahrbahnen überragen. Etwa 100 dieser Mautportale sind auch mit Überwachungseinrichtungen (Enforcementstationen) ausgerüstet und können von Mautprellern Daten erfassen, die an die Mautaufsicht weitergeleitet werden (EUROPASS LKW-Mautsystem GmbH 2006a). Das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz hat mit einer Länge von ca. 2000km im Durchschnitt alle 5km ein Mautportal bzw. alle 20km eine Enforcementeinrichtung.

#### 6.1.2. Technischer Ablauf des Nutzungsvorgangs

Der in diesem Kapitel dargestellte Kommunikationsablauf zwischen On-Board Unit und Mautbake basiert auf einem Kapitel der Studie REGINA des bmvit, die die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Aufbau und Betrieb intelligenter Infrastruktur behandelt. Die dort recherchierten Informationen stützen sich auf ein persönliches Gespräch mit Herrn Dr. Bernd Eberstaller von der Kapsch TrafficCom AG (bmvit 2004, S. 183). Die folgende Grafik

stellt den Kommunikationsvorgang anschaulich dar, und dient als Stütze für die nun folgende Erklärung.

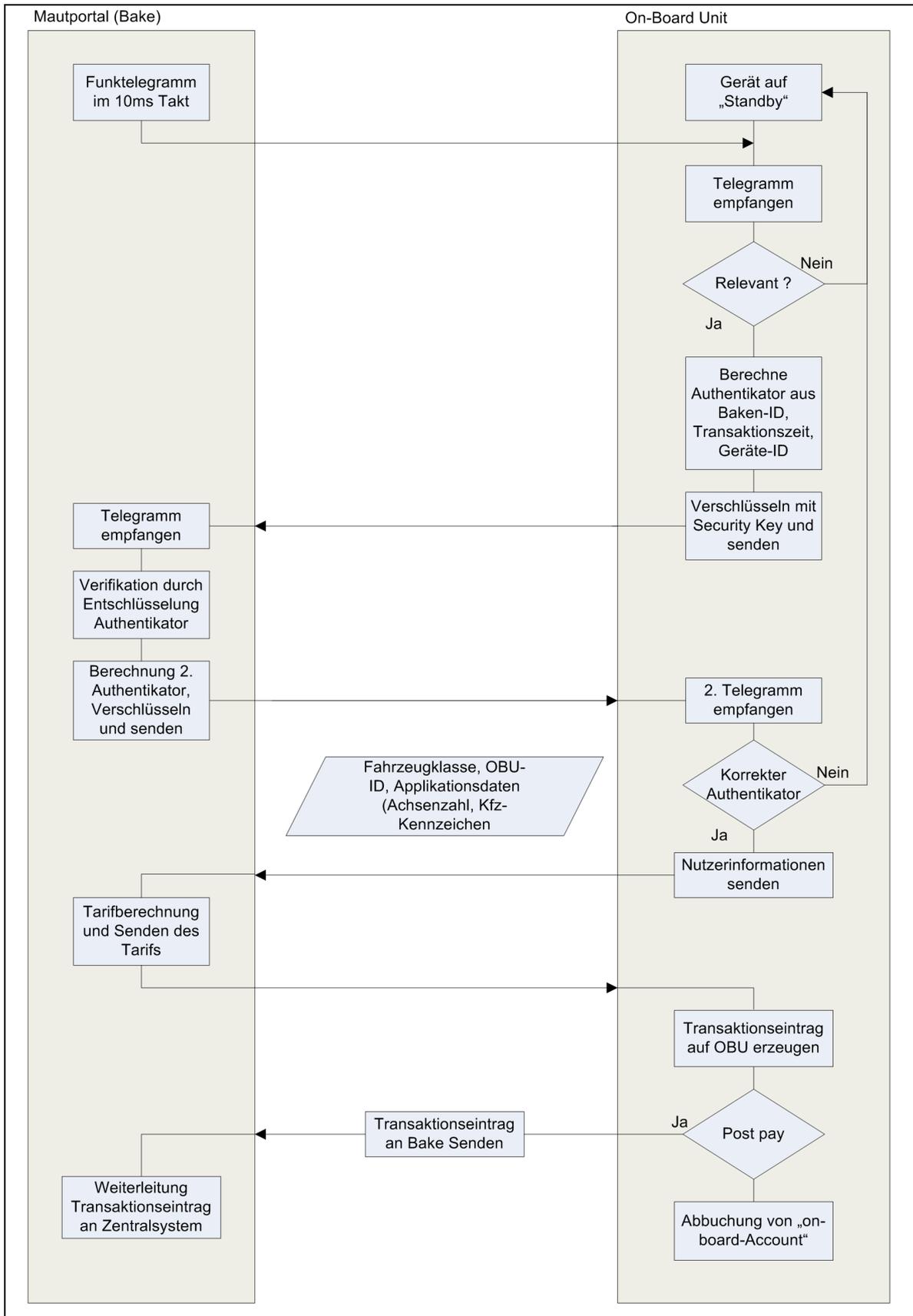


Abb. 10: Ablauf des Nutzenvorgangs beim österreichischen Mautsystem

Die Mikrowellen-Antenne der Mautbaken senden im 10ms Intervall Funktelegramme in Richtung Fahrbahn. Dadurch entsteht ein Funkkegel zwischen Fahrbahn und Antenne, der auch gleichzeitig die Kommunikationszone begrenzt. Die OBU im Fahrzeug befindet sich normalerweise im Stand-by-Modus. Sobald das Fahrzeug in die Kommunikationszone fährt, wird die OBU für eine Kommunikation mit der Mautstation aktiviert und die Fahrzeugeinheit erkennt aus dem Telegramm des Bakens

- ob es sich um eine straßenseitige Mautapplikation handelt
- in welchem Land und von welchem Unternehmer die Applikation betrieben wird.

Aus diesen Informationen weiß die OBU ob es sich um ein relevantes, kompatibles System handelt und geht in diesem Fall folgendermaßen weiter vor: Um der Bake zu Antworten wird ein Authentifikator berechnet, der zur Identifikation des Fahrzeuggeräts im Mautsystem dient. Dieser Authentifikator wird aus der von der Bake empfangenen Baken ID, der aktuellen Transaktionszeit und einer vom Betreiber festgelegten, in der OBU gespeicherten, 8 Bit ID berechnet. Der Authentifikator wird für jeden Eintritt in eine Kommunikationszone neu berechnet, um größtmöglichen Schutz zu gewährleisten. Dadurch wird verhindert, dass ein „abgehörter“ Identifikator zur Vortäuschung einer fremden Identität verwendet werden kann.

Die OBU setzt nach der Berechnung des Authentifikators ein Funktelegramm mit Information über

- gewählte Vertragsart (pre- post-pay Verfahren)
- errechneten Authentifikator
- ergänzende techn. Daten

ab. Vor dem eigentlichen Sendevorgang wird die Nachricht noch mit dem Secret Key, der in der OBU gespeichert ist, verschlüsselt. Der Secret Key ist ein vom Hauptschlüssel (Master Key) des Mautsystems abgeleiteter Schlüssel. Dadurch kann nur das Mautsystem eine mit dem Secret Key verschlüsselte Nachricht unter Verwendung des geheimen Master Keys entschlüsseln, was eine weitere Sicherheitsmaßnahme darstellt.

Die Funkbake überprüft die Identität der OBU die sich jetzt im Mautsystem anmelden will. Dabei wird der Authentifikator des empfangenen Telegramms entschlüsselt und ein zweiter Authentifikator aus einem Teil der empfangenen Daten generiert. Die Bake sendet den generierten Authentifikator gemeinsam mit weiteren technischen Daten verschlüsselt an die Fahrzeugeinheit. Nun muss wiederum die OBU die Nachricht entschlüsseln, um die Informationen mit dem selbst erzeugten Authentifikator zu vergleichen. Bei einer Übereinstimmung erkennt das Fahrzeuggerät, dass das Mautsystem in der Lage war den Authentifikator zu entschlüsseln, und ist jetzt bereit konkrete Nutzungsdaten für das Mautsystem zur Verfügung zu stellen.

Die Nutzungsdaten enthalten Informationen über

- die Fahrzeugklasse (LKW, BUS, PKW,...)
- die Identifikationsnummer der OBU („Go-Box“-ID)
- und applikationsspezifische Daten mit Tarifrelevanz (Achszahl, Anhänger, Schadstoffausstoß, Kfz Kennzeichen).

Im Mautsystem verfügt jede Mautbake über einen Rechner mit einer hinterlegten Tariftabelle für den Mautabschnitt. Dadurch kann der aktuelle Mauttarif pro km für das passierende

Fahrzeug auf Basis der Nutzungsdaten berechnet, und anschließend an die OBU übermittelt werden.

Das Fahrzeuggerät generiert aus dem empfangenen Mauttarif einen Transaktionseintrag auf der OBU, der einen Zeitstempel, den Mauttarif (pro/km), die ermittelte Fahrzeugklasse, die Mautabschnitts-Identifikationsnummer samt Fahrtrichtung beinhaltet. In der OBU werden immer die letzten 30 Transaktionseinträge gespeichert.

Der weitere Transaktionsvorgang ist von der gewählten Zahlungsvariante (pre-pay oder post-pay) abhängig. Beim post-pay Verfahren wird der generierte Transaktionseintrag über die Funkbake an die Mautzentrale gesendet. Diese ist dadurch in der Lage Plausibilitätsprüfungen durchzuführen, und speichert den Eintrag in einer zentralen Datenbank für die spätere Verrechnung. Die Daten werden dort für mindestens sechs Monate gespeichert. In dieser Zeit können gegen ein entsprechendes Entgelt Einzelleistungsnachweise angefordert werden. Bei offenen Einspruchsfristen gegen Buchungen werden die Daten entsprechend länger gespeichert. Die Organisation des Kunden erhält auf elektronischem Weg die Rechnung. Die Organisation erhält dabei nicht nur aufsummierte Gebührenbeträge, sondern auch eine Reihe weiterer Nutzungsdaten (Kfz-Kennzeichen, Go-Box-ID, Ort, Datum, Uhrzeit und Betrag der einzelnen Mauttransaktionen, Karten-ID). Beim pre-pay Verfahren erfolgt die Verrechnung der Mautgebühren durch direktes Abbuchen des Guthabens vom „on-board-Account“ der OBU.

Bis zum 1. Juli 2004 war es notwendig, eine fehlgeschlagene Mauttransaktion innerhalb von 70km und innerhalb von 5 Stunden an eine Vertriebsstelle oder ein Mautaufsichtsorgan zu melden, und dort den fehlenden Mautbetrag zu entrichten. Das System erkennt nun eigenständig fehlgeschlagene Transaktionen und verrechnet diese automatisch nach. Beim pre-pay Verfahren werden fehlende Transaktionen beim nächsten Aufladen des „on-board-Accounts“ verrechnet (EUROPASS LKW-Mautsystem GmbH 2006b)

### 6.1.3. Kontrolle

Zur Feststellung von Falsch- oder Nichtzahlern stehen unterschiedliche Arten von Kontrollinstrumenten zur Verfügung, wobei grundsätzlich zwischen stationären und mobilen Kontrolleinrichtungen unterschieden wird. Auf dem hochrangigen Straßennetz sind etwa 100 Mautportale mit Kontrollsystemen ausgestattet, wobei wiederum 2 Varianten hinsichtlich der Platzierung unterschieden werden (bmvt 2004, S.185):

- Auf Überlandstrecken, auf denen Stausituationen unwahrscheinlich sind
- An neuralgischen Punkten (Autobahnkreuze, Stadtautobahnen) wo Staus mit gewisser Regelmäßigkeit auftreten

Beide Varianten der Kontrolleinrichtungen erstellen digitale Schwarzweißaufnahmen – ein Front- und ein Übersichtsbild – von jedem Fahrzeug, das sich der Kontrolleinrichtung nähert, egal ob eine Mautpflicht besteht oder nicht. Die Bildbereiche der Kameras sind dabei auf die Erkennbarkeit der Kfz-Kennzeichen optimiert.

Als nächstes folgt die Fahrzeugklassifizierung. Hierbei wird auf Überlandstrecken ein Laserscanner eingesetzt, der das Fahrzeugprofil des passierenden Fahrzeuges feststellt aus der eine entsprechende Schätzung der Fahrzeugklasse abgeleitet wird. Diese Schätzung wird mit den von der OBU übermittelten Daten zur Fahrzeugdeklaration verglichen. Erscheinen die Daten der OBU im Vergleich zur Profilschätzung als unplausibel, so wird die Frontaufnahme des Fahrzeuges an die Kontrollzentrale übermittelt.

Laserscanner eignen sich nicht für Stadtautobahnen oder Autobahnkreuze, da hier im Fall von Staus die Qualität der Ergebnisse leidet. Darum greift man auf die Video-Stereoskopie zur Klassifizierung zurück. Hierbei wird ein Fahrzeug aus 2 unterschiedlichen Blickwinkeln fotografiert, um dreidimensionale Informationen über die Form des Fahrzeugs zu erhalten. Danach wird wie zuvor eine Plausibilitätsprüfung mit allfälliger Übermittlung an die Kontrollzentrale durchgeführt.

In der Kontrollzentrale werden durch eine visuelle Vorüberprüfung alle nicht relevanten Fahrzeugaufnahmen ausgeschieden. Danach erfolgt für die weiter relevanten Bilder eine automatische Erkennung des Kennzeichens mit einer OCR (Optical Character Recognition) Software. Ein Sachbearbeiter sendet das ausgelesene Kennzeichen an das Kfz-Zentralregister und erhält die Information, ob für das Fahrzeug eine Mautpflicht besteht. Ist dies der Fall, so kann er mit einer weiteren Anfrage zusätzliche Fahrzeug- und Zulassungsdaten anfordern um eine weitere Überprüfung des Bildes durchzuführen. Wird eindeutig festgestellt, dass die Mautpflicht durch das Kfz verletzt wurde, so werden die Namens- und Adressdaten des Zulassungsbesitzers ermittelt, um diesen zur Entrichtung der sog. „Ersatzmaut“ aufzufordern.

Zusätzlich zu den 100 fixen Kontrolleinrichtungen gibt es manuelle Kontrollen durch mobile Einheiten. Dabei werden stichprobenartig Kontrollen durch die Mautaufsichtsorgane der ASFINAG durchgeführt. Die Mautaufseher sind mit Kontrollfahrzeugen unterwegs, die mit Funkantennen ausgestattet sind, und können somit im fließenden Verkehr Informationen von den OBU's der Kraftfahrzeuge abfragen. Zusätzlich sind die Aufsichtsorgane mit tragbaren PCs ausgestattet, um manuell Kennzeichen ausländischer Kfz zu überprüfen. Im Rechner wird eine Liste aller ausländischen Mautpreller verwaltet, die bisher noch nicht belangt werden konnten.

## 6.2. LKW-Mautsystem in Deutschland

Das Lkw-Mautsystem in Deutschland, dessen Start für 2003 geplant war, wurde aufgrund technischer Probleme erst mit 1.1. 2005 in Betrieb genommen (Steininger, Gobiet 2005, S96). Das System ist für LKW mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von 12t und mehr konzipiert. Es handelt sich dabei um ein autonomes, satellitengestütztes System, wobei zusätzlich DSRC Technologien auf Infrarot- und Mikrowellenbasis zum Einsatz kommen. Das 12000km lange Autobahnnetz ist in etwa 5300 Segmente gegliedert, die dem Fahrzeuggerät als Berechnungsbasis für die Gebühren bilden (Toll Collect GmbH 2006a).

Die Mauthöhe richtet sich, anders als beim österreichischen Mautsystem, zusätzlich zur Achszahl und der zurückgelegten Kilometer auch noch nach der Schadstoffkategorie (A, B, C) (Toll Collect GmbH 2006). Die Mautsätze liegen im Bereich von 0,09€/km für Fahrzeuge mit bis zu 3 Achsen in der Schadstoffkategorie A und 0,14€/km für 4 oder mehr Achsen in der Schadstoffkategorie C (Toll Collect GmbH 2005).

### 6.2.1. Aufbau

Dieses Mautsystem ist als duales Mautsystem aufgebaut und gibt damit dem Fahrzeuglenker die Möglichkeit am automatischen Erhebungssystem, oder am Einbuchungssystem teilzunehmen. Beim automatischen Erhebungssystem übernimmt die Fahrzeugeinheit (OBU) alle Aktivitäten – von der Einbuchung in das System, der Lokalisierung des Fahrzeuges via GPS bis hin zur Übermittlung der errechneten Mautdaten (über GSM) – ohne zusätzlichen Aufwand für den Lenker. Im Einbuchungssystem ist der Lenker verpflichtet im Vorhinein die zu fahrende Strecke zu buchen.

Die im deutschen LKW-Mautsystem verwendete OBU ist wesentlich komplexer als die Fahrzeugeinheit die in Österreich verwendet wird. Diese OBU wird mit dem Tachometer, und dem Boardnetz verbunden und darf deshalb auch nur von autorisierten Fachwerkstätten eingebaut werden. Die On-board-Unit besteht aus folgenden Komponenten:

- einer Kontrolleinheit (CPU),
- einer Navigationseinheit zur Standortbestimmung über GPS,
- einer Navigationseinheit mit Gyroskop und Tachoabgriff
- einem GSM-Modul zur Kommunikation mit der Mauterhebungszentrale

Zusätzlich zur OBU gibt es noch eine DSRC Einheit, die für die Kommunikation mit den Kontrollbrücken notwendig ist. Dieses Modul basiert auf IR Technologie, unterstützt aber aus Interoperabilitätsgründen auch Mikrowellen-DSRC (Macos 2003).

Der Lokalisierungsvorgang erfolgt anhand von Satellitensignalen, die mit den in der OBU gespeicherten Karten abgeglichen werden. Dadurch kann die OBU feststellen ob, und wenn ja auf welchem der 5300 mautpflichtigen Streckenabschnitte sich das Fahrzeug befindet. Fehlen aufgrund der Geländegegebenheiten (Gebirge, Tunnels, Städte) Positionsdaten von Navigationssatelliten, so muss dennoch eine Lokalisierung möglich sein. Deshalb ist die OBU mit einem Kreisel (Gyroskop) und mit einem Abgriff des Tachosignals zur Umsetzung einer Koppelortung bestückt. Diese beiden Sensoren helfen bei der Überprüfung der Fahrzeugbewegung und der Fahrtrichtung, und arbeiten unabhängig von der GPS-Lokalisierung. Durch die Koppelortung ist einerseits sichergestellt, dass das System auch kurzzeitig ohne GPS Empfang funktioniert, andererseits wird durch den Abgleich der beiden Ortungssysteme die Genauigkeit der Ortung erhöht. (Toll Collect GmbH 2006a)

Die Positionierung erfolgt im automatischen System mit einer Genauigkeit von etwa 10 Metern. Für besonders kritische Streckenabschnitte, beispielsweise wenn Bundesstraßen parallel zu mautpflichtigen Autobahnen verlaufen oder bei längeren Unterführungen, wurden Stützbaken installiert. Diese senden die Positionsinformationen per Infrarot an die OBU, was die Exaktheit des Systems weiter steigert. (Toll Collect GmbH 2006b)

Die Kartendaten der OBU können zentral über GSM aktualisiert werden, um beispielsweise die Tarife anzupassen (Macos 2003). Eine Anpassung der bemauteeten Streckenabschnitte ist ebenso möglich.

## 6.2.2. Technischer Ablauf des Nutzungsvorgangs

Wie im vorigen Kapitel bereits erwähnt, gibt es zwei Arten wie das Mautsystem genutzt werden kann. Es stehen die automatische Erhebung und die manuelle Einbuchung zur Verfügung.

### 6.2.2.1. Automatische Erhebung

Diese Erhebung funktioniert nur mit eingebauter OBU, welche mit dem Einschalten der Zündung des Fahrzeugs automatisch aktiviert wird. Danach wird der LKW-Lenker zur Eingabe von

- einem 4-stelligen PIN Code,
- der Gewichtsklasse ( $\geq 12t$  bzw.  $< 12t$ ),

- der Achszahl,
- der aktuellen Tour und der Kostenstelle

aufgefordert. Ab diesem Zeitpunkt ist die OBU betriebsbereit und erkennt, ob das Fahrzeug auf einem mautpflichtigen Abschnitt ist. Das System berechnet aufgrund der zuvor eingegebenen Daten und der zurückgelegten Strecke die zu zahlenden Gebühren. Die errechneten Informationen werden regelmäßig – entweder nach Ablauf einer gewissen Zeitspanne, oder nach Erreichen eines bestimmten Mautbetrags – über GSM, genauer gesagt via GPRS (General Packet Radio Service) an die Mautzentrale gesendet. (Macos 2003)

### 6.2.2.2. Manuelle Einbuchung

Das manuelle Einbuchungsverfahren wurde geschaffen, um unregelmäßigen Nutzern, die nicht am automatischen System teilnehmen wollen, eine Möglichkeit zur Mautentrichtung zu geben. Dies gewährleistet einen diskriminierungsfreien Zugang für sämtliche Autobahnbenutzer.

Die manuelle Einbuchung muss vor der Befahrung der Autobahn, an einem der ca. 3700 Terminals oder via Internet erfolgen. Die Terminals befinden sich an Rastplätzen, Tankstellen od. Autohöfen in der Nähe von Autobahnen (Toll Collect GmbH 2006d).

An diesen Terminals müssen zu einer Fahrt am Autobahnnetz folgende Daten bekannt gegeben werden: Kennzeichen, Zulassungsland, Emissionsklasse, Achszahl, Startzeit der Autobahnnutzung, Startpunkt (Autobahnauffahrt), Endpunkt (Autobahnabfahrt). Das System errechnet aus den angegebenen Informationen den Endzeitpunkt unter Berücksichtigung von Pufferzeiten für Pausen so, dass eine Mehrfachbenutzung der Autobahninfrastruktur nicht möglich ist. Der Lenker erhält für die gebuchte Strecke am Terminal eine Quittung mit Magnetstreifen, bei Internetbuchung einen Beleg mit digitaler Signatur. Somit ist der Beleg als Beweismittel nutzbar (Macos 2003).

### 6.2.3. Kontrolle

Da das deutsche LKW- Mautsystem als duales System ausgelegt wurde, wird die Kontrolle von Fahrzeugen etwas erschwert. Man kann nun nicht mehr davon ausgehen, dass LKW (über 12t) die keine OBU besitzen gegen die Mautordnung verstoßen, denn ein einfacher Beleg reicht aus, um das gebührenpflichtige Straßennetz benutzen zu dürfen.

Im deutschen Mautsystem ist das Kontrollsystem in 3 Kontrollformen gegliedert: automatische, stationäre und mobile Kontrolle.

Für die automatische Kontrolle wurden rund 300 Kontrollbrücken am Autobahnnetz installiert (Toll Collect GmbH 2006c). Das zeigt, dass am deutschen Autobahnnetz mit einer Länge von 12000km im Durchschnitt alle 40km eine Kontrollbrücke aufgebaut wurde.

Diese Kontrollbrücken überspannen die gesamte Fahrbahn und sind auf jeder Fahrspur mit den nötigen Kontrolltechniken ausgestattet. Eine Kontrollbrücke setzt sich aus folgenden Kontrollelementen zusammen:

- Eine Detection- und Trackingeinheit mit Laserabstandssensoren
- 3D Laserabstandsscanner
- CCD-Kameras mit LED Blitz

- Auswertungseinheiten und ISDN/GSM – Technik zur Kommunikation mit der zentralen Datenbank
- Infrarot DSRC-Modul zur Kommunikation mit dem Fahrzeuggerät (OBU)

Der automatische Kontrollvorgang läuft folgendermaßen ab:

Die Kontrollbrücke erfasst jedes sich nähernde Fahrzeug über die Detection- und Trackingeinheit und registriert dabei auf welcher Spur zu welchem Zeitpunkt das Fahrzeug den Kontrollbalken passieren wird. Danach erfolgt die Feststellung ob es sich um ein mautpflichtiges Fahrzeug ( $\geq 12t$ ) handelt. Dabei wird das Fahrzeug mit dem 3D Laserabstandsscanner dreidimensional vermessen, um die Form des Fahrzeugs zu bestimmen. Die Kontur zeigt, ob für das Fahrzeug Mautpflicht besteht, und wie viele Achsen es hat. Besteht keine Mautpflicht werden die Messdaten sofort gelöscht (Toll Collect GmbH 2006c). Bei bestehender Mautpflicht versucht die Kontrollbrücke über DSRC mit der OBU Kontakt aufzunehmen, und vergleicht die Messdaten der Sensoren mit den Einstellungen der OBU (Achszahl). Ist die Kontaktaufnahme fehlgeschlagen, so wird weiters überprüft ob das Fahrzeug an dem manuellen Einbuchungsverfahren teilnimmt. Dazu werden mit einer CCD (charge-coupled device) Kamera ein Übersichtsbild und ein Bild des Fahrzeugkennzeichens geschossen. Mit einer entsprechenden Zeichenerkennungssoftware wird danach das Kennzeichen von dem zweiten Bild ausgelesen, und mit den gespeicherten Kennzeichen in den Einbuchungsdaten, die für diesen Abschnitt aktuell gültig sind, verglichen. Bei einer Übereinstimmung werden die Daten sofort gelöscht, andernfalls wurde damit festgestellt, dass ein Mautverstoß begangen wurde. Dieser wird entsprechend geahndet und die dafür nötigen Informationen werden via ISDN an die Zentrale gesendet. Die folgende Grafik zeigt den gesamten Kontrollvorgang noch einmal übersichtlich zusammengefasst (Macos 2003).

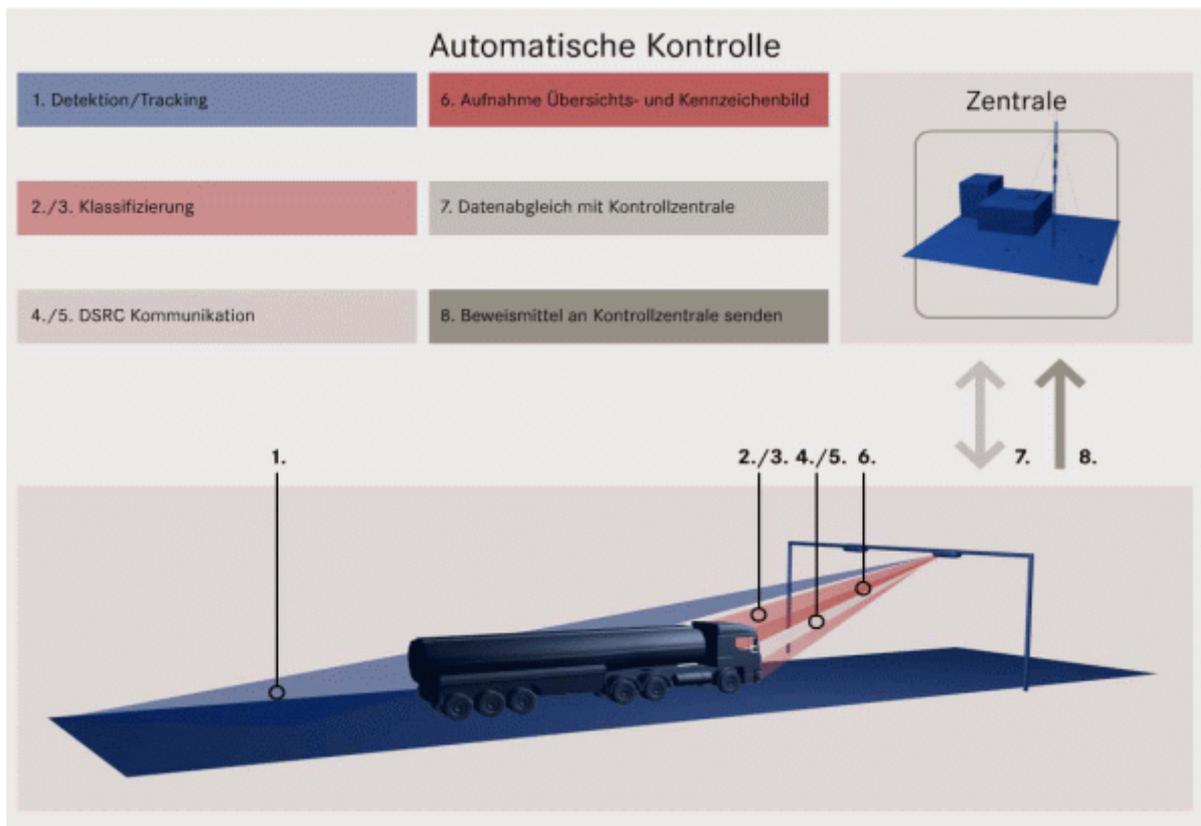


Abb. 11: Automatischer Kontrollvorgang im deutschen LKW-Mautsystem (Macos 2003)

Die stationäre Kontrolle erfüllt den Zweck Fahrzeuge anzuhalten, die einen Mautverstoß begangen haben, der soeben bei einer Kontrollstelle festgestellt wurde. Die Fahrzeuge

werden unmittelbar nach den Kontrollbaken aufgehalten, um den Sachverhalt zu klären und Bußgelder zu erheben. Hierfür müssen aber die Kontrollstationen mit zusätzlichen WLAN Sende- und Empfangsgeräten ausgestattet sein, damit das Kontrollpersonal über die aktuell erhobenen, notwendigen Daten informiert wird (Macos 2003, S.16).

Wie im österreichischen Mautsystem werden auch hier mobile Kontrollen durchgeführt. Die ca. 250 Kontrollfahrzeuge sind mit

- Kontroll-PC
- DSRC-Kommunikationseinheit zur Überprüfung der Teilnahme am automatischen System
- Einer GSM Einheit für den Datenaustausch mit den zentralen Datenbanken

ausgestattet und führen die Kontrollen im fließenden Verkehr durch. Dabei wird vom Kontrollpersonal festgestellt, ob es sich um ein mautpflichtiges Fahrzeug handelt. Anschließend wird mit der DSRC Einheit überprüft ob das Fahrzeug an der automatischen Erhebung teilnimmt. Wenn dies der Fall ist, wird die Achszahl durch das Personal kontrolliert.

Wird die Maut nicht automatisch erhoben, so kommt der Kontroll-PC zum Einsatz. Das Kennzeichen des Fahrzeugs wird eingegeben und mit den Einbuchungsdaten, die ständig mit der Zentrale abgeglichen werden, verglichen. Dabei wird wiederum die Korrektheit der Achszahl und der Emissionsklasse überprüft (Macos 2003, S.17).

### 6.3. Congestion Pricing in London

Das Congestion Charging System in London ist seit 17. Februar 2003 in Betrieb und gilt für alle motorisierten Fahrzeuge mit folgenden Ausnahmen: Motorräder, lizenzierte Taxis, Fahrzeuge von Behinderten, Busse, Rettungsfahrzeuge und einige Fahrzeuge, die mit alternativen Treibstoffen betrieben werden (Litman 2005). Das System deckt eine Fläche von 21km<sup>2</sup> ab, was 1,3% der Gesamtfläche Londons darstellt (Transport for London 2006a). Für einen besseren Vergleich: dies entspricht der Fläche der Wiener Gemeindebezirke 1 bis 9 ohne den 2. Bezirk. Es handelt sich um ein geschlossenes Mautsystem, wobei die Bemessung der Gebührenhöhe zeitbezogen erfolgt. Von 7:00 morgens bis 18:30 ist wochentags eine einmalige Gebühr von £8 (wurde im Juli 2005 von £5 angehoben) für die Benutzung aller Straßen in der mautpflichtigen Zone zu bezahlen. Die tatsächliche Fahrleistung wird nicht berücksichtigt. Das City-Maut System in London zielt darauf ab Staus zu reduzieren, und die Einnahmen für die Verbesserung der öffentlichen Verkehrsmittel zu verwenden.

Eine Erweiterung des Systems wurde im September 2005 beschlossen, dabei wird die Mautzone in westlicher Richtung ausgedehnt. Die Erweiterung soll am 19. Februar 2007 in Betrieb gehen (Transport for London 2006c).

#### 6.3.1. Aufbau

In der 21km<sup>2</sup> großen Mautzone sind an 203 Plätzen jeweils mehrere Überwachungskameras installiert, wobei hierfür 254 Farbkameras und 434 schwarzweiß Kameras im Einsatz sind. Zusätzlich werden 10 mobile Überwachungseinheiten eingesetzt. An 64 weiteren Plätzen sind ebenfalls Kameras – 60 Farbkameras und 68 schwarzweiß Kameras – installiert, um zusätzliche Verkehrsinformationen von der Mautzone zu erhalten. Es wird sichergestellt, dass jede Ein- bzw. Ausfahrtsstraße des Mautareals in beiden Richtungen überwacht wird. Die Kameras sind so konzipiert und positioniert, dass Sie die Nummerntafeln der Fahrzeuge

erkennen um danach die analogen Videosignale an die Zentrale zu schicken, in der die eigentliche Nummerntafelerkennung stattfindet. Danach vergleicht das System die erfassten Kennzeichen mit Einträgen der registrierten Benutzer in der zentralen Datenbank. Treten Probleme bei der Informationsübertragung in die Zentrale auf, so gibt es 25 mobile Rechner für die Kennzeichenerkennung. Diese werden im Bedarfsfall in Umgebung der Kamera aufgestellt. Die erfassten Informationen (Kennzeichen) der mobilen Rechner müssen dann manuell abgeholt werden (Transport for London 2006a).

### 6.3.2. Nutzenvorgang und Kontrolle

Jeder mautpflichtige Fahrzeuglenker muss für die Benutzung der Mautzone vor oder nach der Fahrt bezahlen, die Mautgebühr muss jedoch noch am Benutzungstag entrichtet werden. Die Gebühren können im Voraus auch wöchentlich, monatlich oder für ein ganzes Jahr entrichtet werden. Der Nutzer kann Online, via SMS, bei ausgewählten Händlern und Tankstellen, bei Selbstbedienungsautomaten, per Telefon, oder auch über die Post seine Gebühren entrichten (Transport for London 2006b). Fährt ein Fahrzeuglenker in die Mautzone während der Zeit der Gebührenpflicht, so wird das Kennzeichen von einer der Kameras erfasst, und mit den gespeicherten Einträgen der Kunden die bereits bezahlt haben in einer zentralen Datenbank verglichen. Hat ein Fahrzeuglenker keine Mautgebühr bezahlt, hat dies eine Strafe von £80 zur Folge, die sich bei Zahlung innerhalb von 2 Wochen auf £40 reduziert, und bei Nichtzahlung innerhalb eines Monats auf £120 erhöht (Litman 2005).

## 6.4. Elektronisches Road Pricing in Singapur

In Singapur gibt es schon seit 1975 Road Pricing Systeme. Bis 1998 waren das „Area Licencing Scheme“ (ALS) und das „Road Pricing Scheme“ (seit 1995) im Einsatz und wurden danach durch ein elektronisches Road Pricing System ersetzt. Die beiden Ursprungssysteme basierten auf dem Erwerb von farblich codierten Lizenzen, die es den Fahrzeuglenkern ermöglichten Kontrollpunkte auf gewissen Straßen zu passieren (Kian Keong, 2002). Das elektronische Road Pricing System wird auf 2 Arten eingesetzt. Einerseits als Kordon Mautsystem für eine Fläche von 7,2km<sup>2</sup> (etwa die Größe des 3. Bezirks in Wien) und andererseits für Schnellstraßen und andere Hauptverbindungen von Singapur.

Ein interessanter Aspekt des Systems ist die variable Festlegung der Gebühren aufgrund der möglichen Geschwindigkeit auf den Straßen. Hierbei wurden jeweils für Schnellstraßen und für Stadtstraßen Geschwindigkeits-Schwellwerte festgelegt, die zur Erhöhung bzw. Senkung der Gebühren führen, wobei eine Bewertung vierteljährlich stattfindet. Wenn beispielsweise die Geschwindigkeit auf Schnellstraßen über 65km/h ansteigt, so zeigt das, dass zu viele Fahrzeuge von der Nutzung der Strecke aufgrund der Gebührenhöhe abgehalten werden und somit der Straßenraum nicht effizient genutzt wird. Darum wird die Gebühr gesenkt um mehr Fahrzeugen die Nutzung zu erlauben. Sinkt hingegen die Geschwindigkeit unter 45km/h, so ist dies ein Indikator für eine Überlastung, was eine Gebührenerhöhung zur Folge hat (Kian Keong, 2002).

### 6.4.1. Aufbau

Das elektronische Mautsystem besteht aus 3 Komponenten(Kian Keong, 2002):

- Fahrzeugeinheiten mit Smart-Card, die als Invehicle Units (IU) bezeichnet werden.
- Kontrollbaken basierend auf DSRC Technologie mit Antennen und Überwachungskameras

- Kontrollzentrum, das verschiedene Server, Überwachungssysteme sowie eine Zentraluhr zur Synchronisierung der Kontrollbaken des gesamten Systems beinhaltet.

Die IU wurde speziell für das Mautsystem entwickelt und so gebaut, dass eine Smart-Card eingesetzt werden kann, von der die Mautgebühren abgebucht werden. Für jede Fahrzeugkategorie gibt es eine eigene IU, die sich durch die Farbe des Geräts und einen Berechnungsfaktor unterscheiden. Abhängig von der Fahrzeugkategorie variiert der „passenger car unit“ (pcu) Faktor, der in die Berechnung der Gebührenhöhe einfließt. Die IU wird im Fahrzeug fix installiert und an die Autobatterie zur Energieversorgung angeschlossen (Menon 2003). Für ausländische Fahrzeuge besteht auch die Möglichkeit eine batteriebetriebene IU auszuleihen (Kian Keong, 2002).

Die Kontrollbaken des Systems sind mit Infrarot Sendern und Empfängern ausgestattet, die die Kommunikation mit dem Fahrzeug übernehmen. Weiters sind an den Kontrollstationen Fahrzeug Detektoren montiert, die erkennen, wann ein Fahrzeug, die auf die Straße gemalte Linie passiert, um die Kontrollprozedur zu starten. Zusätzlich sind noch Überwachungskameras angebracht, die das Fahrzeugkennzeichen, bei fehlender IU oder zu geringem Guthaben fotografieren. Die Balken sind mit dem Kontrollzentrum über (geleaste) Telefonleitungen zur Übertragung gesammelter Daten verbunden (Kian Keong, 2002).

Das Kontrollzentrum ist für die dauerhafte Überwachung der Mautinfrastruktur verantwortlich und übernimmt die Bearbeitung von Verstößen gegen die Mautordnung und Systemfehlern. Zusätzlich werden alle finanziellen Transaktionen mit den Smart-Card Anbietern am Ende eines Tages abgewickelt (Menon 2003).

#### 6.4.2. Nutzenvorgang und Kontrolle

Der Nutzer muss vor Fahrtantritt seine geladene Smart-Card in die IU einstecken, dabei wird eine automatische Überprüfung durchgeführt, wobei im Fehlerfall der Nutzer informiert wird. Passiert ein Nutzer eine Mautbake, so empfängt die IU von der ersten Fahrzeugeinheit ein Infrarot Signal, dass die Kontaktaufnahme mit dem System ermöglicht und eine Transaktion startet. Dabei wird der fällige Mautbetrag von der Smart-Card abgebucht.

Sofort nach diesem Vorgang passiert das Fahrzeug die Kontrolleinrichtungen der Mautbake. Dabei überprüft das Mautsystem, ob der korrekte Betrag von der Smart-Card abgebucht wurde. Bei zu geringem Guthaben oder fehlender IU wird ein Photo – der Auslösezeitpunkt wird vom Fahrzeugdetektor bestimmt - des hinteren Fahrzeugkennzeichens gemacht und in der Kontrollzentrale weiter verarbeitet.

In der Kontrollzentrale wird das Kennzeichen mittels OCR Technologie ausgelesen und an den Fahrer eine Strafe versandt. Diese ist abhängig davon, ob der Fahrer nur zu geringes Guthaben auf seiner Smart-Card hatte, oder ob das Fahrzeug ohne IU unterwegs war (Kian Keong, 2002).

#### 6.5. Interoperabilität von Mautsystemen

Die in Kapitel 5.4.5 bereits erwähnte Richtlinie zur Interoperabilität elektronischer Mautsysteme in der Gemeinschaft (2004/52/EG) enthält neben den diskutierten Einschränkungen der technischen Lösung, auch in Artikel 3 Richtlinien zur Schaffung eines europäischen elektronischen Mautdienstes. Die Entscheidungen in Bezug auf die Merkmale des europäischen Mautdienstes sollen bis 1. Juli 2006 von der Kommission getroffen werden. Der Zeitplan sieht vor, dass Mautbetreiber bis 2009 für Lkw und bis 2011 für Pkw einen einheitlichen Mautdienst anbieten sollen. (Europäische Union 2004).

Für die Gewährleistung interoperabler Mautsysteme müssen nach Egeler (2004) 3 Aspekte beachtet werden:

- Technische Kompatibilität
- Prozedurale Interoperabilität
- Vertragliche Interoperabilität

Um die Interoperabilität in den 3 Punkten sicherzustellen bedarf es der Lösung folgender Probleme. Einerseits gibt es in den verschiedenen Ländern unterschiedliche Vergebühungskonzepte, die auf unterschiedlichen Technologien basieren. Während Österreich auf 5,8GHz DSRC nach CEN Standard setzt, verwendet das deutsche Mautsystem Infrarot DSRC (zusätzlich zum GPS System) und das italienische Mautsystem verwendet wiederum einen eigenen DSRC Standard. Dies zeigt ansatzweise die technischen Kompatibilitätsprobleme. Hinsichtlich der prozeduralen Interoperabilität gilt es auch zu klären, wie die Klassifizierung, die Behandlung von Ausnahmen und der Datenaustausch zwischen den Systemeinheiten (Nutzer, Betreiber, ...) behandelt werden. Um vertragliche Interoperabilität sicherzustellen müssen weiters Fragen wie Verantwortungsbereich und Zahlungsabwicklung geklärt werden (Egeler 2004).

In der Europäischen Union wurden und werden eine Reihe von Forschungsprojekten durchgeführt, die sich mit den zuvor erwähnten Aspekten der Vereinheitlichung europäischer Mautsysteme befassen. Ein Auszug der wichtigsten Projekte wird folgend aufgelistet:

Akronym	Titel	Ziele
MOVE-it	Motorway Operators Validate Electronic Fee Collection for Interoperable Transport	Schaffung einer vertraglichen Interoperabilität, bzw. harmonisierung der Zahlungsabwicklung
CARDME	Concerted Action for Research on Demand management in Europe	
A1 TR 4001	Interoperability of European EFC Systems based on DSRC	Technische Interoperabilität DSRC-basierter Systeme
CESARE	Common EFC System for a ASECAP (Association Européenne des Concessionnaires d'Autoroutes et d'Ouvrages à Péage) Road Tolling and Service	Entwicklung und Implementierung interoperabler, elektronischer Mautsysteme
PISTA	Pilot on Interoperable Systems for Tolling Applications	
RCI	Road Charging Interoperability	Aufbau eines interoperablen Mautsystem-Prototypes in 6 Ländern (Österreich, Italien, Frankreich, Deutschland, Spanien, Schweiz)

Tabelle 24: ko-finanzierte EU Projekte zur Mautsysteminteroperabilität

Obwohl bereits eine Vielzahl europäischer Projekte mit dem Thema der Harmonisierung von Mautsystemen durchgeführt wurde, ist der Zeitplan der Europäischen Union zur Einführung eines interoperablen Mautsystems bis 2009 für Lkw und 2011 für Pkw sehr ambitioniert. Die

Studie nach Sutter (et al. 2006) schätzt den Zeitplan als unrealistisch ein<sup>24</sup>. Die EU-Kommission will bis 1. Juli 2006 die Merkmale des interoperablen Mautsystems festlegen, ab diesem Zeitpunkt ist eine Beurteilung, ob der vorgegebene Zeitplan eingehalten werden kann leichter möglich.

---

<sup>24</sup>Sutter (et. al 2006) zieht dabei die Einführung des Lkw Tachographen als Maßstab heran.

## 7. Umsetzung einer fahrleistungsabhängigen Maut am nachrangigen Straßennetz

### 7.1. Wahl des mautpflichtigen niederrangigen Straßennetzes

Mit der Einführung von Mautsystemen wird das Ziel verfolgt den Nutzern der Straßeninfrastruktur ihre verursachten Kosten anzulasten. Aus den erhöhten Kosten für den Nutzer wird weiters erwartet, dass ein Rückgang der externen Kosten und der Infrastrukturkosten für die Betreiber, und somit eine Lenkung der Verkehrsnachfrage möglich ist.

Diese Ziele werden auch durch die Einführung von Mautsystemen am niederrangigen Straßennetz verfolgt. Welches der Ziele aber vordergründig verfolgt werden kann, ist von der Wahl des Straßennetzes abhängig. Deshalb werden mögliche Varianten im folgenden Kapitel betrachtet. Das primäre Ziel das bei der Betrachtung der folgenden Konzepte ausgewählt wurde, ist die **fahrleistungsabhängige Gebührenverrechnung**, die die tatsächlich zurückgelegten Fahrzeugkilometer dem Nutzer anlastet. Außerdem soll durch die Einführung einer Maut am niederrangigen Straßennetz ein **Lenkungseffekt** erzielt werden.

Für die räumliche Ausdehnung eines Mautsystems am niederrangigen Straßennetz gibt es grundsätzlich 2 Möglichkeiten:

- Einführung eines flächendeckenden Mautsystems, dass das gesamte österreichische Straßennetz umfasst
- Bemautung von Teilen des Netzes oder von einzelnen Gebieten (nicht flächendeckend)

#### 7.1.1. Bemautung des gesamten Straßennetzes

Bei einer flächendeckenden Gebühreneinhebung sind grundsätzlich alle Straßen des niederrangigen Straßennetzes gebührenpflichtig. Bei einer fahrleistungsabhängigen Gebühr ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Straßenarten sind die Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur, und eine mögliche Reduktion der Verkehrsnachfrage die einzigen Ziele, die verfolgt werden können. Ein Lenkungseffekt kann hiermit nicht erzielt werden. Durch eine tarifliche Staffelung nach den Verkehrsfunktionen der Straße (Verbindung, Erschließung, Aufenthalt) ist dies aber möglich. Dabei stellt sich die Frage, welche Ziele ein Land bei Straßen mit Aufenthaltsfunktion durch die Gebühreneinhebung verfolgt und ob dies überhaupt sinnvoll ist. Auf diesen Straßen ist weder mit erhöhtem Verkehrsaufkommen, Staus noch mit zu starker Umweltbelastung zu rechnen. Deshalb ist hierbei keine Lenkung des Verkehrs oder der Verkehrsnachfrage notwendig. Die komplexe Tarifstaffelung führt außerdem zu einem höheren administrativen Aufwand führen, wodurch fraglich ist ob der Nutzen den Aufwand übersteigt.

Ein weiteres Problem bei der Einführung eines flächendeckenden Mautsystems stellt die Kompetenzaufteilung in der Straßenverwaltung dar. Während Landesstraßen durch die Landesregierungen verwaltet werden, liegen Gemeindestraßen im Verantwortungsbereich der Gemeinden<sup>25</sup>. Eine Koordination aller Gemeinden in den Ländern und der Länder untereinander zur Sicherstellung einer flächendeckenden Maut erscheint als durchaus

---

<sup>25</sup> Die Kompetenzverteilung ist für jedes Bundesland im jeweiligen Landesgesetz genau geregelt (siehe Kapitel 3.6.1.2)

problematisch. Ein weiterer schwieriger Aspekt ist die Verwaltung des ca. 104000km langen Straßennetzes, um die Daten des Straßennetzes für die Mauterhebung auf dem letzten Stand zu halten.

Für die Erzielung eines Lenkungseffektes erscheint es deshalb sinnvoller einzelne Streckenabschnitte des niederrangigen Straßennetzes zu vergebühren. Die Auswahl der Streckenabschnitte kann dabei nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen, die im nächsten Kapitel diskutiert werden.

## 7.1.2. Selektive Auswahl des mautpflichtigen Straßennetzes

Wenn man von einer Bemautung des gesamten österreichischen Straßennetzes absieht, bleibt noch die Möglichkeit einzelne Teile des Straßennetzes zu vergebühren. Dabei stellt sich die Frage, nach welchen Kriterien die gebührenpflichtigen Straßennetze ausgewählt werden. In dieser Arbeit werden zwei mögliche Ansätze diskutiert. Einerseits kann eine Auswahl nach der Verkehrsfunktion erfolgen, andererseits steht auch die Verkehrsbelastung auf Streckenabschnitten als Auswahlkriterium zur Verfügung. In beiden Fällen soll als primäres Ziel eine Verkehrslenkung erzielt werden.

### 7.1.2.1. Auswahl nach Verkehrsfunktion

Es besteht die Möglichkeit, Straßen mit bestimmten Verkehrsfunktionen zu bemauten. Straßen mit Erschließungs-, und Aufenthaltsfunktion dienen zur Abwicklung des regionalen Nahverkehrs, während Straßen mit Verbindungsfunktion den Zweck erfüllen Orte und Regionen miteinander zu verbinden, und diese somit auch einen Teil des überregionalen Verkehrs abwickeln (siehe Kapitel 3.6.2). Für zurückgelegte Wege auf Verbindungsstraßen wird dadurch eine deutlich höhere Fahrleistung erbracht, und diese soll gezielt beeinflusst (reduziert) werden. Durch eine Gebühr für die Benutzung von Straßen (z.B alle Straßen mit Verbindungsfunktion – Landstraßen B) wird eine Verhaltensreaktion ausgelöst, wobei zwischen direkten und indirekten Verhaltensreaktionen unterschieden wird. Direkte Reaktionen führen zu kurzfristigen Verhaltensänderungen wie einer veränderten Routenwahl oder der zeitlichen Verschiebung der Fahrt. Indirekte Verhaltensreaktionen entstehen durch mittel- bis langfristige Sekundärfolgen und führen beispielsweise zur veränderten Zielwahl aufgrund veränderter Standortentscheidungen (Kribernegg 2005).

Die Auswahl rein auf Basis der Verkehrsfunktion ist aber auch nicht ganz unproblematisch. Dies wird am Beispiel der Landstraßen B (B-Straßen) gezeigt, die eine Verbindungsfunktion erfüllen. Bei den B-Straßen handelt es sich um ca. 10% des österreichischen Straßennetzes (10010km). Eine Benutzungsgebühr kann beispielsweise für das ausgewählte Netz eingehoben werden. Wird aber die tatsächliche Verkehrsnachfrage nicht berücksichtigt, ist somit auch für kaum ausgelastete Straßen dieses Netzes eine Gebühr fällig. Auf diesen Streckenabschnitten ist aber aufgrund der geringen Auslastung die Notwendigkeit eine Verkehrslenkung zu erzielen nicht gegeben.

Außerdem sind die Straßen des niederrangigen Netzes aufgrund der geringen Verkehrsleistungen über Benutzungsgebühren schwer finanzierbar. Im Jahr 2000 betrug der Anteil des Pkw-Verkehrs auf Autobahnen und Schnellstraßen ca. 31,4%, auf B-Straßen wurden 37,8% abgewickelt (Kribernegg 2005). Die kilometerbezogene Fahrleistung ist am niederrangigen Straßennetz wesentlich geringer, und die Kosten eines Mautsystems wären aufgrund der großen Netzlänge höher. Aus diesem Grund sollte die Betrachtung der tatsächlichen Verkehrsbelastung auch als Kriterium zur Auswahl relevanter Mautstrecken herangezogen werden. Die alleinige Betrachtung der Verkehrsfunktion zur Auswahl mautpflichtiger Strecken erscheint dem Autor als nicht zielführend.

### 7.1.2.2. Auswahl aufgrund der Verkehrsbelastung

Straßenverkehrsanlagen wurden und werden für eine bestimmte Verkehrskapazität dimensioniert. Dadurch sind die Anlagen auf eine bestimmte Leistungsfähigkeit begrenzt.

„Die Leistungsfähigkeit ist die größte Anzahl von Verkehrselementen eines Verkehrsstroms, die einen Straßenquerschnitt oder Fahrstreifenquerschnitt während eines gegebenen Zeitintervalls bei gegebenen Straßen- Verkehrs- und Betriebsbedingungen durchfahren kann.“ (Weise, Durth 1997 zitiert von FGSV 1989 (Begriffsbestimmungen))

Die Leistungsfähigkeit bestimmt die größte mögliche Verkehrsstärke, die eine Verkehrsanlage bewältigen kann und wird üblicherweise als durchschnittlich tägliche Verkehrsstärke (DTV) angegeben. Die Einheit der DTV ist dabei Kfz/24h. Ein weiterer wesentlicher Aspekt der betrachtet werden muss ist die Verkehrsqualität, die mit zunehmender Verkehrsdichte abnimmt. Ist die tatsächliche Verkehrsstärke in der Nähe der maximalen Verkehrsstärke, so kommt es aufgrund von Interaktionen zwischen Fahrzeugen zu einer Beeinträchtigung der Bewegungsfreiheit und zu einer Behinderung der Fahrer, wobei der Verkehrsfluss noch stabil abläuft. Übersteigt die Verkehrsstärke das Maximum, so wird der Fluss instabil, gerät ins Stocken oder kommt zum Stillstand (Weise, Durth 1997).

Zur Beurteilung der unterschiedlichen Verkehrszustände wurden Qualitätskriterien eingeführt, nach denen 6 Verkehrsqualitätsstufen unterschieden werden.

Verkehrsqualitätsstufe	Freie Strecke	Knotenpunkt	Klassifizierung
<b>A</b>	Freier Verkehrsfluss bei hohen Geschwindigkeiten, geringe Verkehrsdichten ohne Behinderung	Keine oder kleine Wartezeiten	Sehr gut
<b>B</b>	Stetiger, stabiler Verkehrsfluss (oberer Geschwindigkeitsbereich), Überholmöglichkeit noch vorhanden, sehr geringe Behinderung	Kurze Wartezeiten	Gut
<b>C</b>	Stetiger, stabiler Verkehrsfluss (unterer Geschwindigkeitsbereich), Freizügigkeit merklich eingeschränkt, Bildung von Fahrzeugpuls	Mittlere Wartezeiten	Zufrieden stellend
<b>D</b>	Annähernd unstetiger Verkehrsfluss, deutliche Behinderungen (mögliche Kapazität)	Sehr lange Wartezeiten	Noch ausreichend
<b>E</b>	Unstetiger, instabiler Verkehrsfluss, sehr starke gegenseitige Behinderungen, Kolonnenverkehr	Sehr lange Wartezeiten	Mangelhaft
<b>F</b>	Instabiler Verkehrsfluss, Stop-and-go-Verkehr, unterbrochener Verkehrsfluss	Unzumutbare Wartezeiten	Unzureichend

Tabelle 25: Verkehrsqualitätsstufen in Anlehnung an das Highway Capacity Manuel (HCM) (Weise, Durth 1997)

Um eine hohe Verkehrsqualität zu erreichen, ist eine Einschränkung der Verkehrsstärke auf Straßen notwendig. Die folgende Tabelle zeigt Grenzwerte der mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeiten und der entsprechend zulässigen Verkehrsstärken auf einbahnig, zweistreifigen Straßen unter günstigen Verkehrsbedingungen. Anzumerken ist, dass hierbei von einem LKW-Anteil von 0%, einer geringen Steigung und einem Kurvigkeitsbereich von 0-75 gon/km<sup>26</sup> ausgegangen wurde, d.h. dass die zulässige Verkehrsstärke je Qualitätsstufe noch weiter sinkt, wenn man auch den LKW-Verkehr berücksichtigt.

Qualitätsstufe	Einbahnig, zweistreifige Straßen	
	Mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit [km/h]	Zulässige Verkehrsstärke (Querschnitt) [Kfz/h]
A	≥ 80	< 800
B	≥ 70	<1550
C	≥ 60	<2000
D	≥ 50	<2200
E	< 50	<2300
F	< 40	-

Tabelle 26: Grenzwerte der mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeiten und der entsprechend zulässigen Verkehrsstärken auf einbahnig, zweistreifigen Straßen unter günstigen Verkehrsbedingungen (Reise, Durth 1997 zitiert von Brilon et al. 1993)

Teile des niederrangigen Straßennetzes stoßen hinsichtlich ihrer Auslastung schon heute an ihre Grenzen und sind teilweise stark belastet oder auch überbelastet. Hierbei kann durch die gezielte Bemautung dieser Strecken eine Verkehrslenkung erzielt werden, um die Verkehrsnachfrage zu reduzieren, und somit die Verkehrsqualität auf ein vernünftiges Maß zu erhöhen.

Für die detaillierte Auswahl potentieller Mautstrecken ist eine genaue Analyse der aktuellen Verkehrsnachfrage am gesamten niederrangigen Straßennetz notwendig. Dies ist aber nicht Teil dieser Arbeit. Trotzdem wird ein einzelner Streckenabschnitt hinsichtlich einer potentiellen Mauterhebung, auf Basis vorhandener Verkehrsstärken-Daten analysiert. Dabei werden vorerst die Streckenabschnitte des nachrangigen Straßennetzes betrachtet, die vom Ausweichverkehr durch die Bemautung des hochrangigen Straßennetzes betroffen sind, und weiters die urbane Verkehrsbelastung erläutert.

### **Verkehrsverlagerung durch die Bemautung des hochrangigen Straßennetzes:**

Aufgrund der Einführung der Lkw-Maut haben sich Verkehrsverlagerungen vom Autobahnen- und Schnellstraßennetz auf das niederrangige Straßennetz ergeben, in einzelnen Streckenabschnitten ist dadurch der Anteil des Lkw-Verkehrs angestiegen. Im Jahr 2004 betrug nach Berechnungen der ASFINAG der Anteil der Fahrleistung, die sich auf das niederrangige Straßennetz verlagerte etwa 2,3%. Das bedeutet einen Anstieg von bis zu 340 Lkw Fahrten pro Tag auf den betroffenen Abschnitten. Der Bericht der ASFINAG zeigt, dass die Länder durch Einführung von Fahrverboten für den Binnenverkehr<sup>27</sup> eine Rückverlagerung des Verkehrs erzielen wollten und dies großteils auch erreicht haben (ASFINAG 2004).

Eine mögliche Alternative wäre die Ausdehnung der Lkw-Maut auf die betroffenen Strecken, ohne zusätzliche Fahrverbote einzuführen. Dies würde ebenfalls den Ausweichverkehr reduzieren und bei entsprechender Tarifgestaltung eine Rücklenkung des Lkw-Verkehrs auf die Autobahnen bewirken.

<sup>26</sup> Der Kurvigkeitsbereich wird durch die Kurvigkeit charakterisiert und ist die Summe der Absolutbeträge der Winkeländerungen des Abschnittes bezogen auf die Streckenlänge. [gon/Km] ist der Gesamttrichtungsänderungswinkel der Kurve pro Kilometer.

<sup>27</sup> Binnenverkehr ist der Verkehr im Inland (Duden 2006)

Eine der am stärksten vom Ausweichverkehr betroffenen Straßen war die Budapester Straße B10 im Abschnitt zwischen Schwechat und Bruck an der Leitha. Dabei stieg die tägliche Durchschnittsbelastung im 2. und 3. Quartal 2004 um etwa 320 Lkw an (ASFINAG 2004).

Die Betrachtung der Daten der Verkehrszählstelle Bruckneudorf auf der B10 zeigt, dass der Lkw-Verkehr nur etwa 7% der Verkehrsbelastung ausmacht und durch die Einführung der Lkw-Maut kurzfristig auf knapp über 11% angestiegen ist. Der Hauptanteil der Verkehrsbelastung ist aber auf den Pkw-Verkehr zurückzuführen. Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (Montag – Sonntag) und den Anteil des Lkw-Verkehrs für den gesamten Fahrbahnquerschnitt, d.h. in beide Fahrtrichtungen.

	Quartal 2003	Quartal 2004				Quartal 2005		
	4.	1.	2.	3.	4.	1	2.	3.
Kfz	8170	7999	10255	8898	8259	7531	8707	8494
Lkw	559	666	1073	1009	552	387	556	537
PAB <sup>28</sup>	122	113	178	155	135	105	145	144
SLz <sup>29</sup>	185	262	459	470	190	128	175	168
Lkw-Anteil	6,84%	8,33%	10,46%	11,34%	6,68%	5,14%	6,39%	6,32%

Tabelle 27: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) gemessen bei der Zählstelle Bruckneudorf auf der B10 (Zählstellendaten der ASFINAG 2003, 2004, 2005)

Im Durchschnitt ergibt sich im obigen Betrachtungszeitraum eine Verkehrsstärke von ca. 8540 Fahrzeugen pro Tag an der Messstelle. Geht man davon aus, dass die Straße für diese Verkehrsauslastung dimensioniert worden ist, so errechnet sich die Bemessungsverkehrsstärke  $Q_b$  nach RAS-Q (1996) folgendermaßen:

$$Q_b = 0,1 \cdot \text{DTV}$$

$$Q_b = 0,1 \cdot 8540 = 854 \text{ Kfz/h}$$

Die B10 ist als einbahnig, zweistreifige Straße aufgebaut. Wird die Bemessungsverkehrsstärke, die sich aus der aktuellen Verkehrsbelastung ergibt erreicht, so kann die Verkehrsqualitätsstufe A (siehe Tabelle 25) nicht erreicht werden. Die Messdaten der ASFINAG zeigen, dass diese Bemessungsverkehrsstärke vereinzelt sogar deutlich überschritten wird. Der DTV hat dabei beispielsweise am 12.08.2005 einen Spitzenwert von 10856Kfz/24h erreicht, was 127% des Durchschnittswerts entspricht (Zählstellendaten der ASFINAG 2005). Dies ist im Moment zwar noch nicht problematisch, da aber in Zukunft mit einem weiteren Anstieg der Verkehrsbelastung zu rechnen ist, erscheint die Einführung einer Maut für Lkw und Pkw auf diesem Streckenabschnitt sinnvoll, um die Verkehrsnachfrage zu reduzieren. Um die gewünschte Verkehrslenkung zu erzielen kann beispielsweise eine zeitabhängige Gebühr eingeführt werden, um eine Umverteilung der Verkehrsnachfrage über den Tagesverlauf zu bewirken. Oder aber das gewählte Mautsystem bedient sich einer von der Tageszeit unabhängigen, fahrleistungsabhängigen Gebühr, um das generelle Verkehrsaufkommen zu senken. Da im betrachteten Fall die Belastung der Strecke noch einen stetigen Verkehrsfluss erlaubt, erscheint eine zeitabhängige Vergebühnung für Verkehrsspitzen als zweckmäßig. Eine genauere Analyse der Verkehrsdaten wäre aber hier noch notwendig.

Es gibt weitere Straßen des nachrangigen Netzes, die ähnliche, oder noch höhere Verkehrsbelastungen aufweisen. Diese sollten ebenfalls für eine Gebührenerhebung

<sup>28</sup> Pkw mit Anhänger (Wohnwagen) und Busse

<sup>29</sup> Sattel- und Lastzüge ohne Lieferwagen

herangezogen werden. Da es aber nicht Teil dieser Arbeit ist, alle mautrelevanten Straßenabschnitte zu identifizieren, sondern mögliche technische Lösungen für deren Bemautung zu identifizieren, werden keine weiteren Streckenabschnitte betrachtet.

### **Urbane Verkehrsbelastung:**

In urbanen Ballungszentren stößt die Verkehrsinfrastruktur oft an ihre Leistungsgrenzen. In Städten wie Singapur und London existieren bereits städtische Mautsysteme, die auf eine Gebührenerhebung für die Benutzung einer festgelegten abgegrenzten Zone erhoben werden (siehe Kapitel 6.3 und 6.4). Die Einführung einer City-Maut in Wien wird immer öfter auch von politischer Seite angesprochen, wobei die Meinungen darüber durchaus unterschiedlich sind. Konzepte für eine fahrleistungsabhängige City-Maut können durchaus angedacht werden. Erfahrungen in anderen Städten haben aber bereits gezeigt, dass durch ein Area-Charging Konzept ebenfalls eine gute Verkehrslenkung erzielt werden kann. In dieser Arbeit werden fahrleistungsabhängige City-Mautkonzepte nicht weiter betrachtet, sondern es wird speziell die abschnittsweise Bemautung stark belasteter, ländlicher Straßen des niederrangigen Netzes analysiert.

### **7.1.3. Zusammenfassung**

Bei der Wahl des mautpflichtigen Straßennetzes hat sich gezeigt, dass mehrere Alternativen zur Auswahl stehen. Einerseits wurde die Gebührenerhebung auf dem gesamten niederrangigen Straßennetz, andererseits die selektive Auswahl einzelner Strecken oder städtischer Zonen diskutiert.

Die Einführung einer netzabdeckenden, fahrleistungsabhängigen Maut kann zwar bei einer entsprechenden Gebührenstaffelung auch einen Lenkungseffekt erzielen, dies erscheint aber aufgrund des hohen Aufwands als nicht sinnvoll. Außerdem ist auf gering ausgelasteten Straßen keine Verkehrslenkung notwendig, und ein Mautsystem kann hier allein zur Straßenfinanzierung dienen. Dabei müssen die Mauteinnahmen die Kosten des Systems überschreiten und dies erscheint bei geringer Verkehrsauslastung problematisch.

Die selektive Auswahl und Vergebührung einzelner Streckenabschnitte hat den Vorteil, dass man hoch belastete Teile des Netzes fahrleistungsabhängig bemauten, und somit eine Verkehrslenkung erreichen kann. Werden nur stark belastete Streckenabschnitte für eine Mauterhebung ausgewählt, ist eine Finanzierung dieses Systems einfacher zu realisieren. Deshalb werden im nächsten Kapitel die Anforderungen an eine technische Lösung für die Bemautung einzelner Streckenabschnitte am niederrangigen Straßennetz definiert.

### **7.2. Anforderungen an eine technische Lösung**

Die Anforderungen an eine technische Lösung sind durch folgende Randbedingungen bestimmt. Es soll eine fahrleistungsabhängige Maut für Lkw und Pkw auf einzelnen Streckenabschnitten des niederrangigen Straßennetzes erhoben werden, wobei speziell ein Streckenabschnitt betrachtet wird. Dabei soll durch das System eine Verkehrslenkung erzielt werden. Außerdem darf der Verkehrsfluss durch den Aufbau des Systems nicht beeinträchtigt werden, weshalb auf vollautomatische Mautsysteme gesetzt werden muss.

## 7.2.1. Allgemeine Anforderungen

Wie bei den in Kapitel 6 gezeigten Lkw- und City-Mautsystemen ist auch für niederrangige Mautsysteme die Umsetzung der folgenden sechs Kernfunktionen, die bereits in Kapitel 4.2 definiert wurden, notwendig:

- Registrierung
- Kategorisierung
- Detektion (Fahrzeugetkennung)
- Transaktion
- Enforcement (Kontrolle, Überwachung)
- Abgabenverrechnung

Wie bereits in Kapitel 4.3.7 erläutert, wird der Infrastrukturaufbau von Mautsystemen durch die möglichen Technologien für Kategorisierung, Detektion, und Enforcement bestimmt. Die Möglichkeiten werden weiter durch die Anforderungen der Streckenabschnitte des niederrangigen Straßennetzes eingeschränkt, welche im nächsten Kapitel im Detail dargestellt werden.

## 7.2.2. (Technische) Anforderungen in den Mautsystemfunktionen

### 7.2.2.1. Registrierung

Jedem Nutzer muss eine Form der Registrierung zur Verfügung stehen, damit ihm eine Benutzung des Mautsystems möglich ist. Neben den Benutzerdaten, die eine Zuordnung der Mautsystemdaten zum Nutzer erlauben sind hauptsächlich auch Daten für die Klassifizierung des Fahrzeugs bei der Registrierung relevant, um einerseits eine gerechte Vergebührung durchführen zu können und andererseits Enforcement zu ermöglichen. Diese Anforderungen unterscheiden sich nicht zu denen bestehender Mautsysteme am hochrangigen Straßennetz. D.h., dass durch eine veränderte Straßennetzwahl keine speziellen Anforderungen an die Registrierung dazu kommen. Ein Aspekt der bei der Registrierung auch berücksichtigt werden muss, ist die Behandlung von Ausnahmefällen, wie beispielsweise die Verwaltung von temporären Nutzern.

### 7.2.2.2. Kategorisierung

Für die unter Kapitel 7.2 definierten Anforderungen an ein Mautsystem, ist eine Kategorisierung nach Lkw und Pkw notwendig. Da bei den einzelnen Lkw große Unterschiede in der tatsächlichen Belastung der Infrastruktur bestehen, ist eine weitere Subklassifizierung nach Achszahl und Emissionsklasse (wie im deutschen Mautsystem) sinnvoll, um die verursachten Kosten gerecht anzulasten. Diese Kategorisierungsinformationen müssen auch bei einer Registrierung angegeben werden.

Bei Systemen ohne OBU muss die Fahrzeugklasse (Lkw/Pkw) und die Emissionsklasse durch Messungsdaten bestimmt werden können. Für Systeme mit OBU können diese Informationen auf Messdaten oder gespeicherten Daten der Fahrzeugeinheit beruhen.

### 7.2.2.3. Detektion

Die Detektion erfüllt den Zweck der Fahrzeuglokalisierung. Im Gegensatz zum hochrangigen Straßennetz, das aus mehrbahnigen, mehrstreifigen Straßen besteht, ist das niederrangige Straßennetz hauptsächlich aus einbahnigen Strecken mit einem Fahrstreifen je Fahrtrichtung aufgebaut. Das Straßennetz ist stark vermascht und so kann es sein, dass stark belastete

Straßen, sich mit schwach frequentierten Straßen kreuzen, oder diese nah aneinander liegen. Hierbei darf es bei einer Gebührenerhebung für einzelne Streckenabschnitte nicht zur ungerechtfertigten Verrechnung von Mautgebühren kommen, weshalb eine hohe Positionierungsgenauigkeit notwendig ist. Für eine fahrleistungsabhängige Vergebühung ist weiters die Erfassung der Streckenlänge notwendig. Wird die Maut abhängig von der Uhrzeit erfasst, so muss weiters der Zeitpunkt der Mautstreckennutzung erfasst werden. Die automatische Lokalisierung der Fahrzeuge muss ohne Einfluss auf den Verkehrsfluss (durch Bremsen od. Halten) erfolgen.

### **Positionierungsgenauigkeit:**

Die Positionierungsgenauigkeit (Auflösung) stellt bei Systemen mit straßenseitiger Infrastruktur kein Problem dar, da hier die Fahrzeuge beim Passieren einer Mautstelle erfasst werden und so eine metergenaue Lokalisierung möglich ist. Problematisch ist dies hingegen bei autonomen Systemen, da die Anforderungen an die Genauigkeit am niederrangigen Straßennetz deutlich höher sind als auf Autobahnen. Das bestehende autonome Mautsystem in Deutschland, erreicht eine Auflösung von 10m (Toll Collect GmbH 2006b). Dies reicht aus um ein Fahrzeug eindeutig einem Autobahnabschnitt zuzuordnen. Durch die schmalen Fahrbahnen am nachrangigen Straßennetz kann eine Abweichung von 10m bedeuten, dass ein Fahrzeug auf einem parallel zur Fahrbahn führenden Weg unterwegs ist. Diese Strecken sollen aber nicht bemautet werden.

Darum wird vom Autor eine Positionierungsgenauigkeit von mindestens 4m definiert, um den Ansprüchen des niederrangigen Straßennetzes zu genügen. Die Genauigkeit von 4m wird folgendermaßen begründet. Für Lkw wird eine Breite von 3m, für Pkw von 2,25m als Verkehrsraum für die Planung von Straßenverkehrsanlagen definiert (Weise, Durth 1997). Einbahnige, zweistreifige Straßen mit größerer Verkehrsbedeutung werden nach RVS 3.31 mit einer Fahrstreifenbreite von mindestens 3m gebaut (FSV 2004).

Bei der Annahme, dass die Empfangsantenne für das Positionierungssignal in der Mitte des Fahrzeugs angebracht wird, kann bei einer Abweichung von 4m ein Fahrzeug maximal 2,5m neben dem befahrenen Fahrstreifen, oder versetzt auf dem Gegenverkehrsfahrstreifen positioniert werden. Dies würde bedeuten, dass der Abstand zwischen Fahrzeugposition und eigentlicher Fahrbahnkante 1,35m bei Pkw oder 1m beim Lkw beträgt. Da eine Fahrbahn neben Fahrstreifen auch noch Randstreifen und Befestigungsstreifen besitzt, ist es kaum möglich dass ein Weg in diesem Abstand parallel zu einer Straße verläuft. Deshalb wird eine Genauigkeit von 4m als ausreichend erachtet. Die folgende Abbildung zeigt eine 2streifige Fahrbahn mit den Bemessungsflächen für Lkw und Pkw bei genauer Positionierung (0m Abweichung) und der den Anforderungen entsprechenden maximalen Abweichung von 4m.



### 7.3. Beurteilung der technischen Umsetzung anhand des Beispiels eines potentiellen Streckenabschnitts der B10

In diesem Abschnitt werden die drei Basismautkonzepte (offen/geschlossen/autonom) hinsichtlich ihrer technischen Anwendbarkeit für die Bemautung einzelner Streckenabschnitte beurteilt. Dabei werden die technischen Vor- und Nachteile des offenen, geschlossenen und autonomen Basiskonzepts herausgearbeitet. Weiters wird eine grobe Kostenabschätzung der Infrastruktur- und Fahrzeugeinheitskosten der möglichen Lösungsansätze durchgeführt.

#### 7.3.1. Charakterisierung eines potentiellen Mautstreckenabschnitts auf der B10

Der in Kapitel 7.1.2.1 bereits betrachtete Streckenabschnitt der B10 wird auch für die Analyse, welche Mautkonzepte (offen/geschlossen/autonom) sich auf diesem Abschnitt technisch umsetzen lassen, herangezogen. Dabei wird die Bemautung einer ca. 15km langen Strecke von der Kreuzung der B10 mit der B60 bei Enzersdorf an der Fischau bis zur Ortseinfahrt von Bruck an der Leitha analysiert. In diesem Streckenabschnitt befinden sich die beiden Ortschaften Gallbrunn und Stixneusiedl unmittelbar parallel zur B10 und eine Vielzahl an Wegen kreuzen die Strecke. Der Streckenabschnitt ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

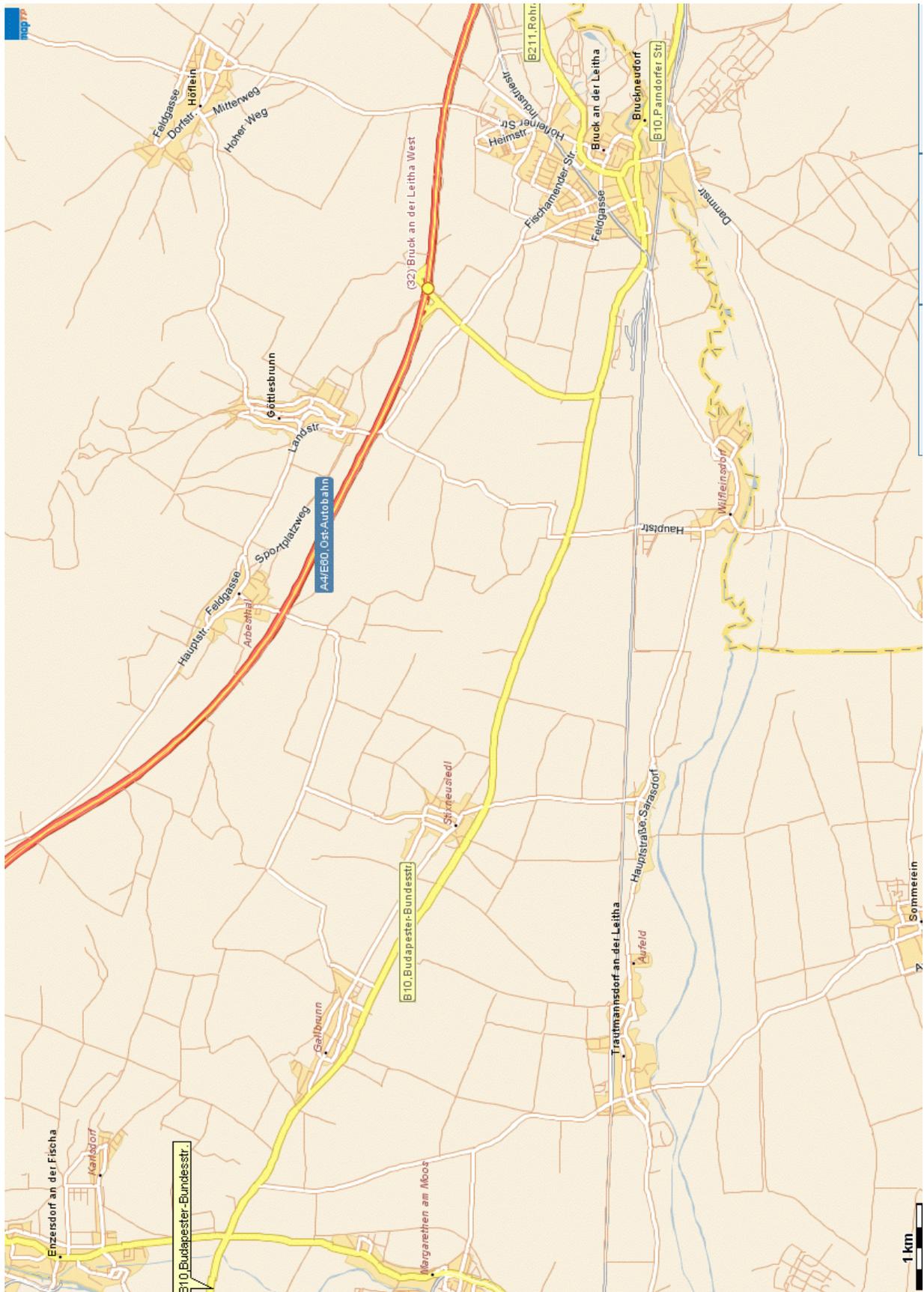


Abb. 13: Potentieller Mautstreckenabschnitt der B10 (Mapsolute 2005)

### 7.3.2. Umsetzung als offenes Mautsystem

#### Technologien:

Für offene Mautsysteme kommen die DSRC Technologie und videogestützte Systeme für die Detektion von Fahrzeugen in Frage. Die DSRC Technologie wird derzeit beim österreichischen multilane-freeflow Lkw-Mautsystem eingesetzt. Dabei werden die Empfangseinheiten immer gegen die Fahrtrichtung montiert. Am niederrangigen Straßennetz müssen die Empfänger auf Mautbalken in beiden Richtungen angebracht werden, um die Fahrzeuge auch im Fall von Überholmanövern erfassen zu können. Andernfalls ist die Einführung von Überholverböten erforderlich, um eine korrekte Vergebührung umzusetzen. Dies beeinträchtigt den Verkehrsfluss, außerdem besteht die Möglichkeit die Erfassungseinheiten gezielt zu umfahren, was ebenfalls nicht erwünscht ist.

Für einen Ressourcen schonenden Aufbau am nachrangigen Straßennetz empfiehlt sich die Montage von 2 RSE Einheiten, die gemeinsam die Kommunikationszone so abdecken, dass auch überholende Fahrzeuge erfasst werden können. Die folgende Abbildung zeigt schematisch einen möglichen Aufbau in Drauf- und Seitenansicht nach Vorschlag von Herrn Ambrosch (Expertengespräch 2006).

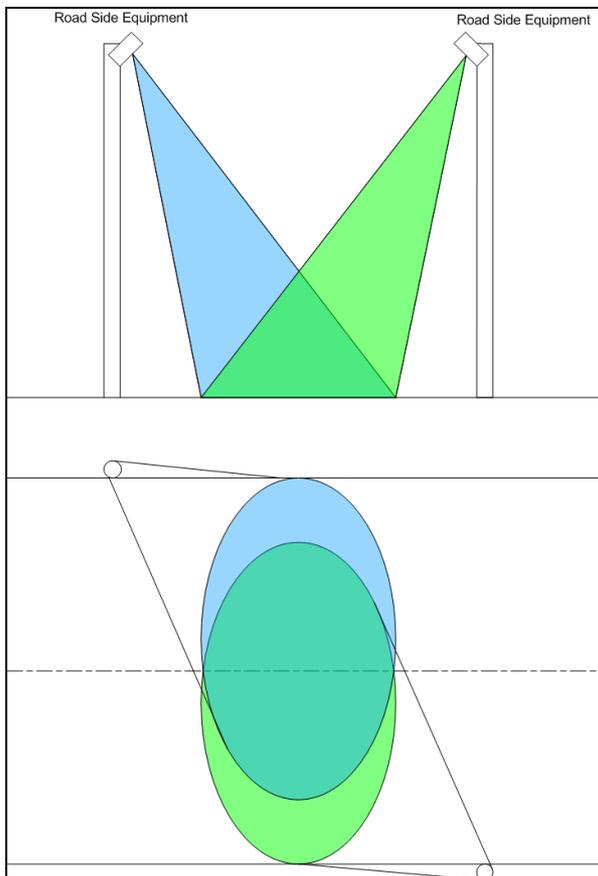


Abb. 14: Möglicher Aufbau einer Mautstation in Drauf- und Seitenansicht (Ambrosch 2006)

Feldversuche in London haben gezeigt, dass bei einem Aufbau von DSRC-Systemen (5,8 GHz) im Gegenverkehrsbereich 99,55% der Fahrzeuge erfasst werden konnten, und bei allen Fahrzeugen die Fahrtrichtung feststellbar war. Weiters wurde bei den Versuchen festgestellt, dass der Mindestabstand (Reuse distance) zwischen 2 Mautbalken 60m betragen muss, damit keine Interferenzen durch die jeweils andere Mautstation auftreten. Die folgende Abbildung zeigt einen weiteren möglichen Aufbau der Mautstellen am

niederrangigen Straßennetz anhand des Testaufbaus in London (Transport for London 2005).



Abb. 15: Aufbau einer Mautstelle mit nur einem Masten (Transport for London 2005)

In diesem Aufbau, sind 4 Erfassungseinheiten für die korrekte Erfassung aller Fahrzeuge notwendig, was einen Nachteil zum ersten Aufbau darstellt. Vorteilhaft hingegen ist die platzsparende Montage mit nur einem Balken. Da in beiden Fällen die Erfassung der Fahrzeuge ohne Probleme erfolgen kann, wird sich die kostengünstigste Variante für den Einsatz durchsetzen.

Videogestützte Systeme bieten zwar den Vorteil, dass keine OBU für die Erfassung der Fahrzeuge notwendig ist, haben aber den Nachteil, dass die Erkennungsrate geringer als bei DSRC Systemen ist. Tests in London haben gezeigt, dass moderne ANPR (automatic number plate recognition) Systeme nur bei 90% der Fahrzeuge das Kennzeichen korrekt erkennen (Transport for London 2005). Die Fehlerquote ist wesentlich höher als bei DSRC Systemen, was einen Mehraufwand für die Nachkontrolle der erfassten Bilder bedeutet.

#### **Aufbau:**

Bei einem offenen Mautsystem ist für jeden Streckenabschnitt zwischen 2 Kreuzungen eine Mautstelle zur Lokalisierung und Kategorisierung von Fahrzeugen notwendig, um eine gerechte, fahrleistungsabhängige Gebührenerhebung zu ermöglichen. Werden im ausgewählten Abschnitt nur die Kreuzungen mit anderen Straßen betrachtet, so ist es durchaus möglich, für jeden Streckenabschnitt eine Mautstelle zu errichten. Werden jedoch auch alle Kreuzungen mit Wegen berücksichtigt, so wird die Unterteilung der mautpflichtigen Strecke noch feiner, und die notwendige Anzahl an Mautbaken steigt. In der folgenden Abbildung wurden alle notwendigen Mautbalken eingezeichnet, die für eine fahrleistungsabhängige Bemautung der ausgewählten Strecke notwendig sind, wenn das System nur Kreuzungen mit Straßen berücksichtigt.

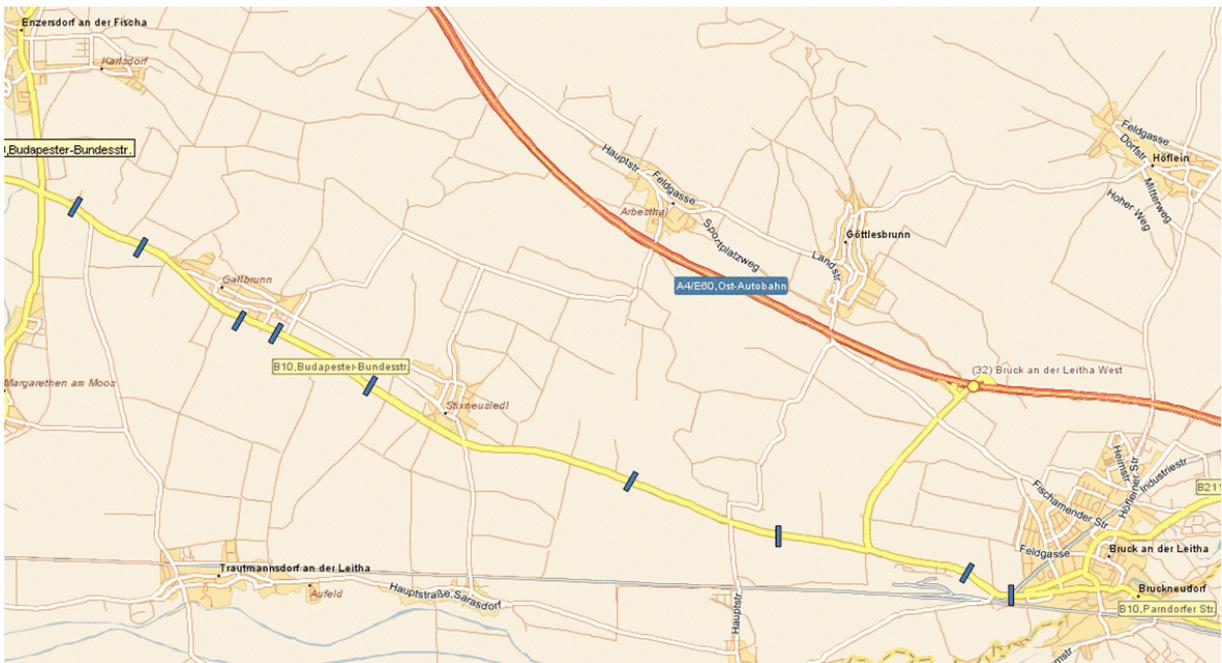


Abb. 16: Aufbau des offenen Mautsystems (Mapsolute 2005)

Demzufolge sind 9 Mautbaken für einen offenen Systemaufbau auf dem gewählten Streckenabschnitt erforderlich, d.h. dass im Durchschnitt alle 1,5km ein Mautbaken errichtet werden muss. Dies bedeutet bezogen auf die mautpflichtige Strecke einen wesentlich höheren Infrastrukturaufwand, als beispielsweise bei Mautsystemen am hochrangigen Straßennetz wie dem österreichischen Lkw Mautsystem. Es zeigt sich außerdem, dass einzelne Mautstellen leicht umfahren werden können. Für eine solche nicht gewollte Umfahrung bieten sich besonders die Ortschaften Gallbrunn und Stixneusiedl an, da eine Straße parallel zur B10 diese beiden Ortschaften verbindet, wie folgendes Bild im Detail zeigt.

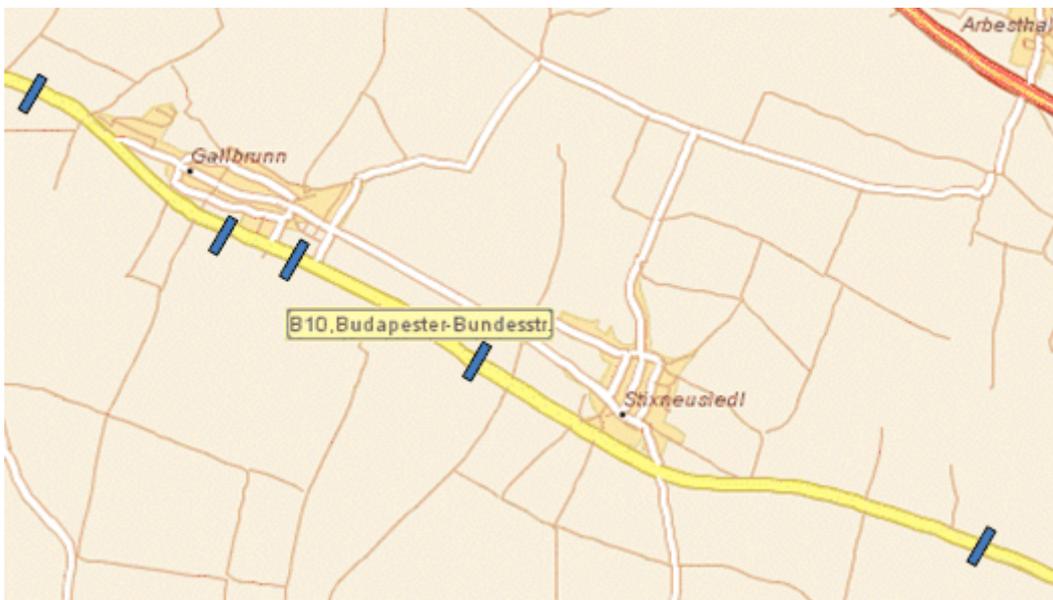


Abb. 17: Streckenabschnitt mit besonderem Umfahrungspotential (Kartenmaterial: Mapsolute 2005)

Das erfordert weiters die Einführung von Fahrverboten für den Binnenverkehr, um eine Verkehrsverlagerung auf diese Straßen zu verhindern. Eine weitere Möglichkeit den Ausweichverkehr durch die Ortschaften einzudämmen, ist die Kontrolle der Zeitpunkte zu

denen die Mautbalken vor und nach der möglichen Ausweichroute passiert wurden. Wird dabei festgestellt, dass die Ausweichstrecke nur zur Durchfahrt genutzt wurde ist beispielsweise eine Anlastung einer Ersatzmaut für den umgangenen Mautabschnitt möglich.

### **Nutzenvorgang:**

Wird auf dem Abschnitt der B10 eine Maut mit DSRC Technologie eingeführt, so muss auch beachtet werden, wie mit Fahrzeugen ohne Fahrzeugeinheit umgegangen wird, die trotzdem zu einer Abgabe verpflichtet sind. Entweder werden alle Fahrzeuglenker zur Verwendung der OBU verpflichtet, wie dies beim österreichischen Lkw-Mautsystem der Fall ist, oder es muss die Möglichkeit geschaffen werden, dass Lenker auch auf andere Art das System nutzen können. Das bedeutet, dass beispielsweise ein zweites System für eine manuelle Einbuchung notwendig ist (ähnlich dem deutschen Mautsystem, siehe Kapitel 6.2), was wiederum das ganze Mautsystem verteuert und die Kontrolle zusätzlich erschwert, da Fahrzeuge ohne OBU auch gültig das System nutzen können. Die Nutzung des Systems kann somit entweder ab Erwerb und Montage einer OBU erfolgen, oder aber durch eine manuelle Einbuchung vor Fahrtantritt. Es erscheint sinnvoll auf die Möglichkeit der manuellen Einbuchung zu verzichten, und auf eine verpflichtende Nutzung der Fahrzeugeinheit zu setzen. Es wird hier bewusst nicht näher auf weitere Details des Nutzenvorgangs eingegangen, da Beschreibungen möglicher Abläufe bereits in Kapitel 6 behandelt wurden.

### **Kontrolle:**

Am niederrangigen Straßennetz sind nur stationäre und automatische Kontrollen möglich. Mobile Kontrollen während der Fahrt sind aufgrund der großteils einspurigen Straßeninfrastruktur nicht denkbar. Stationäre Kontrollen können beispielsweise ähnlich wie derzeit übliche Verkehrskontrollen durchgeführt werden. Für automatische Kontrollen sind Kontrollstationen aufzubauen, bzw. gewisse Mautstationen zusätzlich als Kontrollstationen auszurüsten. Wie in den in Kapitel 7.2.1 definierten Anforderungen erwähnt, ist es dabei sehr wichtig, dass die Überwachung gleichmäßig mit hoher Qualität erfolgt (Ambrosch 2006).

Eine automatische Kontrolle ist nur dann möglich, wenn eine Fahrzeugerkennung stattfindet. Dies geschieht üblicherweise bei einer Kontrollstation durch diverse Sensoren und bei Systemen mit Fahrzeugeinheit über einen Informationsaustausch zwischen RSE und OBE. Bei einer verpflichtenden Nutzung von Fahrzeugeinheiten (OBU) dient eine fehlende Transaktion mit einem Mautbalken bereits als Indikator eines Mautbetrugs, andernfalls kann auch ohne OBU die korrekte Nutzung des Systems erfolgen und hierbei müssen andere Fahrzeugmerkmale (Kennzeichen, Klassifizierungsmerkmale) zur Kontrolle herangezogen werden. Die Anforderungen erfordern eine Kategorisierungsmöglichkeit von Fahrzeugen. Die im System gespeicherten Kategorisierungsdaten müssen deshalb auch kontrolliert und mit Messdaten verglichen werden, um Betrug zu vermeiden. Dies erfordert den Aufbau von Kontrollstationen (Enforcementstationen) mit Induktionsschleifen, Laserscannern oder Videokameras zur Fahrzeugerkennung und Klassifizierung.

Bei einer automatischen Enforcementstation besteht zusätzlich das Problem, dass bei Systemen, die eine Nutzung ohne OBU erlauben, nur für den aktuellen Mautabschnitt festgestellt werden kann, ob ein Fahrzeug unerlaubt fährt bzw. ob die Fahrzeugklasse korrekt konfiguriert wurde. Die Kontrollstation hat aber keine weiteren Informationen über den Auffahrtort bzw. die zurückgelegte Mautstrecke. Da die Streckenabschnitte am niederrangigen Straßennetz durchaus sehr kurz sind stellt sich hierbei die Frage für welche Strecke in solchen Fällen eine mögliche Strafe eingehoben wird bzw. werden darf.

Systeme mit Fahrzeugeinheit haben den Vorteil, dass beispielsweise die letzten Transaktionen in der OBU gespeichert werden können (wie beim österreichischen Mautsystem), was die Kontrolle erleichtert. So kann festgestellt werden, wo das Fahrzeug

die Mautstrecke betreten hat, und mit welchen Kategorisierungsdaten die OBU konfiguriert war. Die Datenqualität zur Beweissicherung ist somit wesentlich höher als bei einem System ohne OBU. Dies spricht für den Einsatz eines Systems mit Fahrzeugeinheit auf Basis der DSRC Technologie.

#### **Zusammenfassung:**

Die Erfassung von Fahrzeugen kann über videobasierte oder DSRC Systeme erfolgen, wobei aufgrund der höheren Zuverlässigkeit und der höheren Verfügbarkeit von Daten bei der Überwachung DSRC Systeme eingesetzt werden sollten. Die möglichen Technologien sind aber weniger problematisch, als der Aufbau der Straßeninfrastruktur. Die fahrleistungsabhängige Bemautung am niederrangigen Straßennetz über ein offenes Mautkonzept ist aufgrund der starken Vermaschung der Straßennetze für eine lückenlose Erfassung aller Streckenabschnitte enorm aufwändig, und jede Erweiterung des Mautabschnitts ist kostspielig. Ein weiteres Problem stellt die Positionierung von Enforcementstationen dar, um einerseits eine gute Abschreckungswirkung gegen Mautvergehen und andererseits eine gute Netzüberwachung zu erzielen.

### **7.3.3. Umsetzung als geschlossenes Mautsystem**

#### **Technologien:**

Wie beim offenen Mautsystem eignen sich videobasierte Systeme, wie auch DSRC Systeme für den Einsatz in geschlossenen Systemen und diese wurden bereits in Kapitel 7.3.2 diskutiert. Vorzugsweise sollte auch in geschlossenen Systemen die DSRC Technologie eingesetzt werden.

#### **Aufbau:**

In einem geschlossenen Mautsystem ist es erforderlich, auf jeder Zu- und Abfahrt auf die mautpflichtige Straße einen Mautbalken aufzustellen. Dies ist zwar theoretisch möglich, kann aber kaum in die Realität umgesetzt werden. Für den ausgewählten Streckenabschnitt sind alleine 12 Mautstationen notwendig um ein geschlossenes System zu realisieren, wenn beim Aufbau nur Kreuzungen mit Straßen berücksichtigt (siehe Abb. 18). Der Aufwand würde weiter steigen, wenn alle Wegkreuzungen mitberücksichtigt werden, denn dies würde etwa 25 Mautstationen erfordern. Außerdem ist es in einem geschlossenen System nicht möglich, unterschiedlichen Streckenabschnitten eigene Gebührensätze zuzuordnen. Hierbei kann nur bei Mautstellen die Nutzung des gebührenpflichtigen Straßennetzes registriert, und beim Verlassen der Mautzone die zurückgelegte Strecke ermittelt werden. Besonders problematisch in diesem Beispiel ist der Fall, dass Fahrzeuge auf Wege abbiegen, die nicht durch einen Mautbalken erfasst wurden, denn dadurch verliert der Mautbetreiber die Möglichkeit überhaupt eine Gebühr einzuheben. Ein lückenloser Aufbau ist deshalb unbedingt notwendig. Der Aufbau von Erfassungsstationen auf allen Abfahrten erscheint aufgrund des hohen Aufwands als kaum machbar. Eine Umsetzung einer Bemautung einzelner Streckenabschnitte als geschlossenes Mautsystem wird deshalb als nicht zufrieden stellend erachtet.

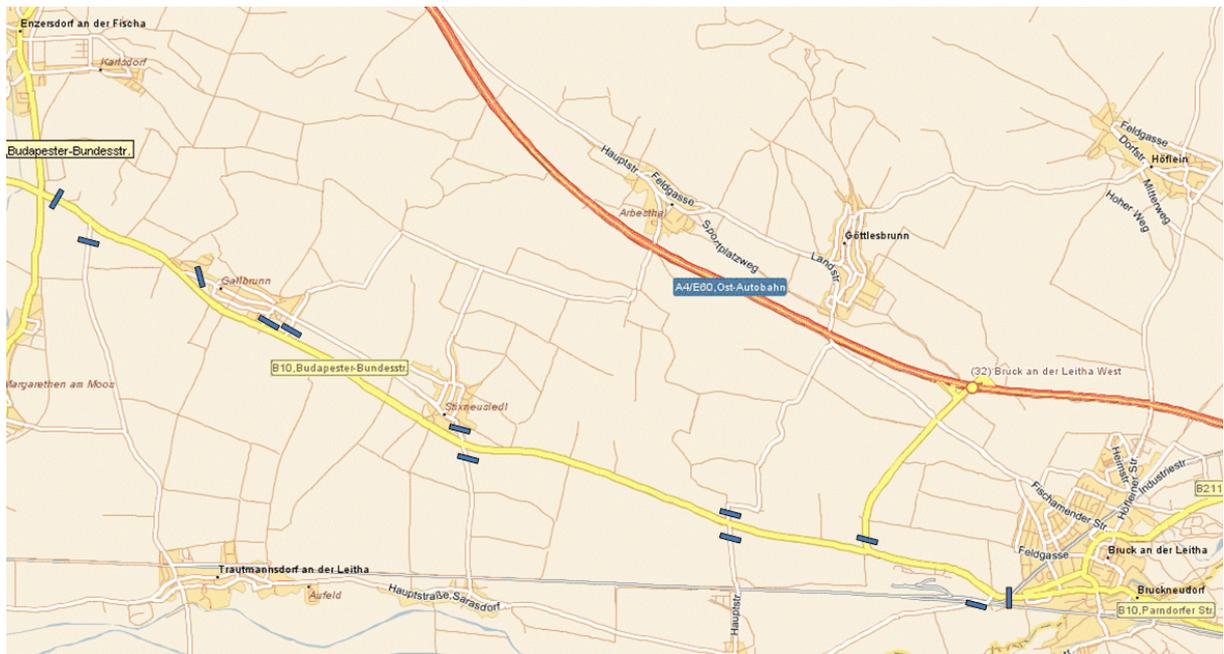


Abb. 18: Umsetzung als geschlossenes Mautsystem (Kartenmaterial: Mapsolute 2005)

### Nutzenvorgang:

Wie beim offenen Lösungsansatz stehen hier 2 Nutzungsvarianten zur Verfügung, wobei wiederum die Empfehlung lautet, auf eine manuelle Einbuchung zu verzichten.

### Kontrolle:

Die einfachste Variante zur Umsetzung der Kontrolle ist die Überwachung bei allen Ein- und Ausfahrten in das geschlossene System, also bei allen Mautstationen. Bei einem lückenlosen Aufbau (mit 25 Stationen) sind die Kosten für die Überwachung ebenfalls enorm. Ein weiterer Aspekt der gegen die Umsetzung als geschlossenes System spricht. Eine andere Möglichkeit ist die Errichtung zusätzlicher Kontrolleinheiten innerhalb des geschlossenen Systems, wobei wie im offenen System auf eine gleichmäßige Kontrolle mit hoher Qualität im gesamten Netz zu achten ist.

### 7.3.4. Umsetzung als autonomes Mautsystem

Bei der Lokalisierung des Fahrzeugs über eine Fahrzeugeinheit (OBU) besteht kein Bedarf an zusätzlicher Infrastruktur. Die Genauigkeit (Auflösung) der Lokalisierung muss aber wesentlich genauer sein als beim bestehenden autonomen Mautsystem in Deutschland, dass eine Genauigkeit von 10m erreicht (Toll Collect GmbH 2006b). Durch die hauptsächlich vorhandenen schmalen Fahrbahnen, mit nur einem Fahrstreifen in jede Fahrtrichtung kann eine Abweichung der Lokalisierung von 10m bedeuten, dass ein Fahrzeug auf einem parallel zur Fahrbahn führenden Weg unterwegs ist. Ein Beispiel dafür ist auf diesem Streckenabschnitt ebenfalls zu finden. Bei Gallbrunn verläuft eine Straße ca. 7m parallel zur Bundesstraße wie folgendes Bild zeigt.



Abb. 19: Parallelstraße zur B10 bei Gallbrunn (Kartenmaterial: Mapsolute 2005)

Diese Strecke soll aber nicht bemaute werden. Die Positionierungsgenauigkeit wurde in Kapitel 7.2.2.3 definiert und darf 4m nicht überschreiten, um eine eindeutige Zuordnung zur befahrenen Straße zu ermöglichen.

### Technologien:

In Kapitel 5.4.2 wurden GPS und das im Aufbau befindliche GALILEO als mögliche Lokalisierungstechnologien für Mautsysteme diskutiert. Die Positionierungsgenauigkeit von GPS (10-15m) reicht nicht aus, um ein Fahrzeug eindeutig einer Mautstrecke zuzuordnen.

Bei der Betrachtung des freien Services (OS) von Galileo zeigt sich, dass dies in Zukunft eine Auflösung von 4m schaffen wird (mit 2 Frequenzbändern), was für die definierten Anforderungen gerade ausreicht. Das CS (Commercial Service) von Galileo wird sogar eine Auflösung von <1m (Europäische Kommission 2003) erreichen, und erfüllt somit die Anforderungen an die Lokalisierung auf dem Landstraßennetz ohne Probleme. Ob die Auflösung von 4m im OS Betrieb tatsächlich erreicht werden kann bleibt abzuwarten. Es ist aber damit zu rechnen, dass in Einzelfällen die Auflösung von 4m nicht ausreichend ist. Mit Verwendung des CS von Galileo zur Fahrzeuglokalisierung kann dieses Problem gelöst werden, wobei hier die Frage gestellt werden muss, wer die Kosten für die Nutzung des CS trägt. Zukünftig bildet aber Galileo eine gute Basis für die Umsetzung autonomer Mautsysteme.

Auch wenn die Lokalisierung durch das System in Zukunft genau genug erfolgen kann, können Abschattungen (in Tunnels, Städten, Gebirge) den Empfang von Satellitensignalen verhindern und damit eine genaue Positionierung unmöglich machen. Für diesen Fall muss ein weiteres Positionierungswerkzeug vorhanden sein. Ein Gyroskop zur Richtungsänderung und ein Tachoabgriff zur Geschwindigkeitserkennung sind dann notwendig, um bei Abschattung aktuelle Lokalisierungsinformationen zu erhalten. Dies macht die Fahrzeugeinheit aber wieder sehr komplex und ein fixer Einbau ins Fahrzeug ist ebenfalls erforderlich. Der Einbau in das Fahrzeug darf wie bereits in Kapitel 5.4.2 erwähnt, aufgrund des Diskriminierungsverbots nicht zwingend erforderlich sein, weshalb beim autonomen System ein Zweitsystem zur Nutzung der Mautstrecke unbedingt erforderlich ist. Dies erhöht wiederum die Kosten für den Betrieb und erschwert die Kontrolle (das Enforcement).

#### **Aufbau:**

Straßeninfrastruktur wird bei dieser Form der Umsetzung nur im Zusammenhang mit dem Enforcement benötigt. Die OBU übernimmt die Detektion, Transaktion und Kategorisierung autonom. Für die Detektion und in weiterer Folge die fahrleistungsabhängige Mauteinhebung muss die OBU den Verlauf der Streckenabschnitte genau abspeichern. Zur Reduktion der zu verwaltenden Daten empfiehlt sich die Speicherung von Streckenabschnitten (Mautzonen) für die eine Gebühr eingehoben wird. Nach diesem Prinzip arbeitet auch das deutsche Mautsystem. Bei Anwendung dieses Prinzips auf den ausgewählten Abschnitt der B10 wäre eine Einteilung in 18 Mautabschnitte notwendig. Dabei sind alle Kreuzungen der B10 mit anderen Straßen berücksichtigt.

#### **Nutzenvorgang:**

Im Gegensatz zu den beiden zuvor besprochenen Lösungsansätzen müssen bei dieser Systemvariante zwei Möglichkeiten zur Nutzung bereit stehen. Diese Optionen sind einerseits der Erwerb einer Fahrzeugeinheit, die eine automatische Vergebührung übernimmt, oder andererseits die manuelle Einbuchung vor Fahrtantritt. Das hierfür notwendige Zweitsystem muss Terminals für eine manuelle Einbuchung zur Verfügung stellen, die so platziert sind, dass jedem eine einfache Nutzung des Systems möglich ist. Der Nutzenvorgang kann hierbei in Anlehnung an das deutsche Mautsystem gestaltet werden (siehe Kapitel 6.2.2).

#### **Kontrolle:**

Enforcement ist ein wichtiger Teil in allen Mautsystemen. Im deutschen Mautsystem, das als autonomes System aufgebaut wurde, werden für 12000km ca. 300 automatische Enforcementstationen eingesetzt (Toll Collect GmbH 2006c). Für ein Autobahnnetz, mit längeren Streckenabschnitten und einer beschränkten Zahl an Auf- und Abfahrten ist dies ausreichend. Im niederrangigen Landstraßennetz kann eine Überwachungsstation aber wesentlich einfacher umfahren werden. Hier ist also darauf zu achten, dass die Stationen auf einem mautpflichtigen Streckenabschnitt so platziert werden, dass eine Umfahrung für die Fahrzeuginsassen zu großen Zeitverlusten führt, und somit die Nutzer nicht zum Ausweichen animiert werden.

### **7.3.5. Wirtschaftliche Betrachtung – Abschätzung von Infrastruktur- und OBU-Kosten**

Die folgende Abschätzung der Kosten für den Aufbau der 3 Umsetzungsmöglichkeiten wird mit Hilfe von Richtwerten der europäischen Studie DESIRE (Designs for Interurban Road Pricing Schemes in Europe) (2003) durchgeführt. Dabei werden die Kosten für die notwendige Infrastruktur und die Fahrzeugeinheiten (OBU) betrachtet.

### **Offenes System:**

Nach den Zahlen der DESIRE Studie kostet ein Mautbalken (Gantry) ca. 150.000€. Dabei kommen die beiden Funkbaken, und eine Kontrolleinheit, die auf etwa 50.000€. Das bedeutet, dass die Kosten für den Aufbau der lückenhaften Mautinfrastruktur mit 9 Mautbalken (nur Mautbalken ohne weitere Systemteile) ca. 1.350.000€ betragen. Für eine einfachen DSRC OBU mit Leuchtdiode, Summer etc. ist mit Stückzahlenkosten von 30€ zu rechnen.

### **Geschlossenes System:**

Die Kosten des Systems liegen über denen des offenen Mautsystems und betragen bei einem lückenhaften Aufbau (nur Kreuzungen mit Straßen werden berücksichtigt) ca. 1.800.000€, bei einer lückenlosen Infrastruktur mit 25 Mautbalken ca. 3.750.000€. Die OBU Kosten liegen wie beim offenen System im Bereich von 30€.

### **Autonomes System:**

Für ein Autonomes System ist für das Primärsystem keine Mautinfrastruktur notwendig, jedoch sind die Kosten der Fahrzeugeinheit wesentlich höher als bei den beiden anderen Systemen. Ab einer Stückzahl von mehr als einer Million kann man etwa mit 200€ für die Produktion einer OBU rechnen. Daneben fallen noch Kosten für den Aufbau automatischer Enforcementeinheiten an, die sich pro Stück auf etwa 230.000€ belaufen. Außerdem müssen für ein Zweitsystem Einbuchungsterminals zur Verfügung stehen, die etwa 50.000€ Anschaffungskosten und 1.000€ für Betrieb und Service pro Gerät ausmachen (Desire 2003). Auf dieses Zweitsystem kann aufgrund der Komplexität der OBU, die einen Einbau erfordert und des europaweit geltenden Diskriminierungsverbots nicht verzichtet werden.

### **Zusammenfassung:**

Keiner der betrachteten Systemansätze stellt eine optimale Lösung dar. Jeder Ansatz hat Vor- und Nachteile für den Einsatz am niederrangigen Straßennetz. Der geschlossene Systemansatz ist aufgrund des hohen Infrastrukturaufwands gänzlich ungeeignet. Das diskutierte autonome System kann mit derzeit verfügbaren Mitteln (GPS zur Positionierung) ebenfalls nicht realisiert werden, ein Zuwarten auf die Fertigstellung von Galileo eröffnet aber neue Möglichkeiten. Zum aktuellen Zeitpunkt (März 2006) ist ein offenes System zur Mauterhebung auf einzelnen Streckenabschnitten der einzig sinnvoll umsetzbare Ansatz. Eine genaue Kalkulation, ab wann der Einsatz eines solchen Mautsystems lohnend ist, und ob auch der gewünschte Lenkungseffekt tatsächlich erzielt werden kann ist trotzdem notwendig. Hierfür ist die Tarifgestaltung wesentlich, und aufgrund der fehlenden Erfahrung hinsichtlich der Bemautung des niederrangigen Straßennetzes kann nur durch Feldversuche die optimale Gebührenhöhe bestimmt werden, um eine optimale Lenkungswirkung zu erreichen. Die folgende Tabelle zeigt zusammenfassend die drei betrachteten Umsetzungsmöglichkeiten mit einer groben Kostenabschätzung der Mautinfrastruktur für den betrachteten Abschnitt der B10, wobei von 10.000 Nutzern mit OBU ausgegangen wird. Zusätzlich wird im offenen und geschlossenen System davon ausgegangen, dass keine Zweitinfrastruktur zur manuellen Einbuchung notwendig ist, d.h. dass alle Nutzer eine OBU im Fahrzeug montiert haben.

		offenes System	geschlossenes System	autonomes System
<b>Detektions Technologien</b>	DSRC	gut geeignet		-
	Video	geeignet, aber zu hoher Aufwand für Nacharbeiten		-
	GPS	-	-	nicht geeignet – zu ungenau
	Galileo	-	-	geeignet, aber problematisch bei Signalabschattung
<b>Kombinierte Technologie</b>	Galileo+ Tachoabgriff+ Gyroskop	-	-	Geeignet, sehr komplex
<b>Aufbau</b>	Straßeninfrastruktur	9 Mautbalken	12 Mautbalken	nicht nötig
	Probleme	lückenhafte Architektur (Wege nicht berücksichtigt) 18 bei lückenloser Infrastruktur	lückenhafte Architektur (Wege nicht berücksichtigt) 25 bei Lückenloser Infrastruktur	Lückenhafte Erfassung wird durch komplexe OBU ausgeglichen, deshalb keine Abzüge
<b>Automatisches Enforcement</b>		Mautbalken können auf Enforcementstationen erweitert werden		Zusätzlicher Aufbau von Enforcementanlagen notwendig
<b>Adaptierbarkeit/ Erweiterbarkeit</b>		durch Erweiterung der Mautbalkeninfrastruktur		zentrales Update der gespeicherten Mautstreckenabschnitte möglich, kleinräumige Änderungen einfach umsetzbar, großräumige Änderungen verursachen Kosten durch das notwendige Zweitsystem
<b>Kostenabschätzung nach DESIRE (2003)</b>		<b>Systemkosten mit einer Enforcementeinheit, verpflichtender OBU bei offenen/geschlossenen Systemen</b>		<b>Systemkosten mit einer Enforcementeinheit, optionaler OBU, mit Zweitsystem</b>
<b>Enforcement</b>	Komplexe Station mit 2 Balken + Ausrüstung mit Laser Scanner, DSRC Einheit, LPR reader, Stationcomputer	230.000 €	230.000 €	230.000 €
<b>Straßeninfrastruktur</b>	Lückenhaft:	1.350.000 €	1.800.000 €	-
	Lückenlos:	2.700.000 €	3.750.000 €	-

		offenes System	geschlossenes System	autonomes System
<b>OBU für 10000 Nutzer</b>	für < 1Mio	300.000 €	300.000 €	2.000.000 €
<b>Zweitinfrastruktur</b>	1 bemannter Verkaufsstandort	0 €	0 €	30.000 €
	jährliche Personalkosten	0 €	0 €	30.000 €
	10 unbemannte Terminals zur Registrierung	0 €	0 €	500.000 €
	Kosten für Betrieb und Service pro Jahr	0 €	0 €	10.000 €
<b>Summe (lückenlose Infrastruktur)</b>		<b>3.230.000 €</b>	<b>4.280.000 €</b>	<b>2.800.000 €</b>

Tabelle 28: Zusammenfassung der Umsetzungsmöglichkeiten eines Mautsystems auf der B10

In obiger Tabelle ist zu sehen, dass bei der gewählten Nutzeranzahl (10.000) die Kosten für das autonome System am geringsten sind. Hier ist aber anzumerken, dass die Kosten dieses Systems stark von der Zahl der OBU Nutzer abhängig sind, und ab ca. 12550 Nutzer die Kosten des offenen Systems übersteigen (in diesem Anwendungsfall). Außerdem ist bei autonomen Systemen mit höheren Administrations- und Erhaltungs- und Betriebskosten von 20-30% im Gegensatz zu 10-20% der Gesamtkosten bei DSRC Systemen zu rechnen, was einen weiteren Nachteil dieses Systems darstellt (DESIRE 2003).

## 7.4. Rahmenbedingungen für den Einsatz elektronischer Mautsysteme am niederrangigen Straßennetz

Die Umsetzung elektronischer Mautsysteme am niederrangigen Straßennetz ist abgesehen von den technischen Möglichkeiten auch von organisatorischen und legislativen Faktoren, sowie dem politischen Willen abhängig, deren Aspekte in den folgenden Kapiteln diskutiert werden.

### 7.4.1. Organisatorische Rahmenbedingungen

Das Lkw Mautsystem am Autobahnen- und Schnellstraßennetz wird durch die ASFINAG verwaltet. Hier wurde eine Public Private Partnership (PPP) Organisationsform gewählt, bei der der Bund der ASFINAG, die eine Aktiengesellschaft in Bundeseigentum ist, Aufgaben übertragen hat (bmvit 2004). Diese Aufgaben sind im ASFINAG Gesetz (BGBl. Nr. 591/1982) und im ASFINAG-Ermächtigungsgesetz 1997 (BGBl I Nr. 113/1997) geregelt (ASFINAG 2006b).

Am niederrangigen Straßennetz liegt die Verwaltung der Straßen nicht bei einer Organisation, sondern ist auf Länder und Gemeinden verteilt. Es ist damit zu rechnen, dass mehrere Streckenabschnitte des niederrangigen Straßennetzes potentiell für ein Mautsystem geeignet sind. Darum ist es nicht sinnvoll eine Mautanlage jeweils durch die zuständige Organisation zu verwalten, da dies zu einem enormen administrativen Aufwand führte. Eine Gründung einer gemeinsamen Dachorganisation zur Gewährleistung einer koordinierten Zusammenarbeit und zur Interoperabilität der Systeme ist sinnvoll. Da die ASFINAG bereits Erfahrung mit der Verwaltung eines Mautsystems hat, ist eine Übertragung der Verantwortung an diese Gesellschaft auch eine mögliche Option. Der Verantwortungsbereich der ASFINAG ist gesetzlich geregelt und muss bei Übertragung der Verantwortung über einzelne niederrangige Streckenabschnitte entsprechend geändert werden.

Eine weitere Frage ist die Verwendung der Einnahmen, die aus der Vergebührung niederrangiger Streckenabschnitte entstehen. Im Bundesstraßen-Übertragungsgesetz (BGBl. I Nr. 50/2002) ist geregelt, in welcher Höhe den Ländern ein Zuschuss zur Straßenfinanzierung vom Bund zusteht. Wird beispielsweise die Verwaltung der Streckenabschnitte an die ASFINAG übertragen, so muss geklärt werden, ob die Einnahmen aus dem Mautsystem den jeweiligen Gemeinden/Ländern zustehen und somit der Zuschuss zur Straßenfinanzierung angepasst wird, oder ob dem Bund die Einnahmen zur weiteren Verwendung zur Verfügung stehen.

#### 7.4.2. Legistische Rahmenbedingungen

Der Einsatz neuer Mautsysteme am niederrangigen Straßennetz muss auch rechtlich abgesichert sein. So dürfen die Wegekostenrichtlinie (1999/62/EG), das Diskriminierungsverbot und die Regelung zu bevorzugten Mauttechnologien (2004/52/EG) nicht verletzt werden.

Durch die Vorgaben der Wegekostenrichtlinie ist die Mauthöhe für Fahrzeuge über 3,5t vorgegeben. Die Richtlinie gilt nicht für Pkw, die Tarifgestaltung sollte aber in Anlehnung an diese Richtlinie erfolgen. In der österreichischen Gesetzgebung sind die Mauttarife für das hochrangige Straßennetz in der Mauttarifverordnung (BGBl. Nr 406/2002) geregelt. Abhängig von der zukünftigen Organisation der Mauterhebung am niederrangigen Straßennetz ist bei Verwaltung durch die Länder eine Regelung in den Landesgesetzen notwendig, oder aber eine Anpassung der gültigen Bundesverordnung wenn der ASFINAG die Verantwortung übertragen wird.

Die technische Umsetzung muss ebenso den rechtlichen Rahmenbedingungen entsprechen. So darf ein Mautsystem zu keiner Diskriminierung, beispielsweise durch den verpflichtenden Einbau einer komplexen OBU, oder durch zu große Verzögerung des Binnenverkehrs bei einer manuellen Einbuchung in ein Mautsystem führen (Oehry 2004). Außerdem hat das System der Regelung zu bevorzugten Mauttechnologien (siehe Kapitel 5.4.5) zu entsprechen.

Ein weiterer Aspekt, der bisher nicht betrachtet wurde ist die Notwendigkeit des Datenschutzes und der Datensicherheit. Dabei darf ein Mautsystem das österreichische Datenschutzgesetz nicht verletzen. Auf weitere Details wird in dieser Arbeit nicht eingegangen. Rechtliche Aspekte elektronischer Mautsysteme wurden im Zuge des I2 (Intelligente Infrastruktur) Projekts REGINA (Rechtliche Rahmenbedingungen für Aufbau und Betrieb Intelligenter Infrastruktur) recherchiert und können dort im Detail nachgelesen werden (bmvit 2004).

#### 7.4.3. Politischer Wille

Bei einer formativen Systemanalyse (Methode nach Scholz, Tietje 2002) der Einflussfaktoren eines Road Pricing Systems wurde festgestellt, dass der politische Wille/Umfeld den Einflussfaktor mit der höchsten Aktivität darstellt, d.h. einen sehr großen Einfluss auf die anderen Faktoren des Mautsystems hat (Sutter et al. 2006). Dies bedeutet, dass bei allen betrachteten technischen und organisatorischen Lösungsszenarien letztendlich die Politik entscheidet, wie, wann, wo und warum ein Mautsystem in Betrieb geht. Derzeit ist es so, dass in den Medien immer wieder die Diskussion über eine mögliche City-Maut aufgeworfen wird (ORF 2006), die Bemaatung hochbelasteter Streckenabschnitte am nachrangigen Straßennetz wird derzeit nicht diskutiert.

Im August 2005 wurden die im Telematikrahmenplan vorgeschlagenen Maßnahmen zur Bewirtschaftung der Straßeninfrastruktur über eine Gebührenerhebung im österreichischen

Rundfunk und Fernsehen in zahlreichen Beiträgen diskutiert (OÖNachrichten 2005). Dabei zeigte sich, dass tendenziell eine Ablehnung gegen jegliche mögliche Erweiterung/Änderung der aktuellen Mautsituation vorherrscht.

Sollte sich die politische Meinung in den nächsten Monaten ändern, und eine generelle Befürwortung zur Erweiterung der Gebührenerhebung bestehen, heißt das aber noch nicht, dass das hier vorgeschlagene Konzept der Bemautung einzelner Streckenabschnitte zum Einsatz kommt. Vielmehr wird die aktuelle politische Richtung entscheiden, ob eine Verkehrslenkung, Verkehrsreduktion oder lediglich die Straßenfinanzierung vordergründig als Ziel verfolgt wird. Außerdem ist nach Kriebner (2005) der nächste logische Schritt die fahrleistungsabhängige Bemautung der Pkw am hochrangigen Straßennetz, bevor eine Gebührenerhebung am niederrangigen Straßennetz umgesetzt wird.

## 8. Zusammenfassung und Diskussion

### *Ergebnisse*

Durch das ständig steigende Verkehrsaufkommen sind Maßnahmen zur Bewältigung der damit verbundenen Probleme notwendig. Eine mögliche Maßnahme ist die gezielte Verkehrsbeeinflussung, welche durch die Einhebung einer Straßenbenutzungsgebühr auf dem Straßennetz erzielt werden kann. Dadurch ist es möglich die Verkehrsnachfrage, Staus, Unfälle und Schadstoffemissionen zu reduzieren. Diese Möglichkeit wurde in dieser Arbeit für das niederrangige Straßennetz analysiert und deren mögliche technische Umsetzung, mit dem besonderen Ziel eine Verkehrslenkung zu erzielen, betrachtet.

Die Anforderungen an die Implementierung der Funktionen Kategorisierung, Detektion, und Enforcement beeinflussen den Aufbau der Mautinfrastruktur (siehe Kapitel 4.3.7). Im Unterschied zum hochrangigen Straßennetz ergeben sich am niederrangigen Straßennetz Schwierigkeiten für den Einsatz bestehender Mauttechnologien, die speziell auf die starke Vermaschung dieser Straßen zurückzuführen sind (siehe Kapitel 3.6.7). Weiters wurde festgestellt, dass eine flächendeckende Bemaatung nicht sinnvoll ist, um eine zielgerichtete Verkehrslenkung zu erzielen, weshalb der Ansatz verfolgt wurde, einzelne hochbelastete Streckenabschnitte des niederrangigen Straßennetzes zur Mauterhebung heranzuziehen (siehe Kapitel 7.1.3).

Am Beispiel eines ca. 15km langen Streckenabschnitts der B10, der zwischen der Kreuzung der B10 mit der B60 bei Enzersdorf an der Fischau und der Ortseinfahrt von Bruck an der Leitha liegt, wurde die mögliche Umsetzung der verschiedenen Basiskonzepte von Mautsystemen (offen/geschlossen/autonom) diskutiert. Dabei konnte gezeigt werden, dass mit aktuell zur Verfügung stehenden Technologien nur ein offenes System technisch umgesetzt werden kann, wobei bezogen auf die bemaatete Streckenlänge weit mehr Infrastruktur als am hochrangigen Straßennetz notwendig ist, und außerdem aufgrund der Vermaschung des Straßennetzes das Enforcement erschwert wird. Ein geschlossener Systemaufbau ist für die Bemaatung einzelner Streckenabschnitte aufgrund des immensen Infrastrukturaufwands nicht zielführend, und autonome Mautsysteme erreichen mit der aktuell verfügbaren GPS Technologie mit einer Positionierungsgenauigkeit von 10-15m nicht die nötige Auflösung von 4m (siehe Kapitel 7.3.4).

Das heißt, dass vorerst nur ein offenes Mautkonzept realisierbar ist, wobei mit der geplanten Fertigstellung von Galileo 2008 die Möglichkeit zur Umsetzung autonomer Mautsysteme am nachrangigen Straßennetz hinzukommt. Auch wenn in Zukunft ein autonomes System den Anforderungen des niederrangigen Straßennetzes genügt, so werden bei einer großen Nutzerzahl aufgrund der hohen OBU-Kosten, die Kosten über jenen eines offenen Systems liegen. Außerdem ist in den nächsten Jahren nicht damit zu rechnen, dass die Fahrzeugeinheiten autonomer Systeme ohne fixen Einbau verwendet werden können, wodurch eine Zweitinfrastruktur zur manuellen Einbuchung notwendig ist, die wiederum die Kosten des Mautsystems erhöht.

Aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens am niederrangigen Straßennetz ist fraglich, ob der Aufwand für ein offenes Mautsystem gerechtfertigt ist und die gewollte Verkehrslenkung erzielt werden kann. Möglicherweise ist es eher sinnvoll, auf einfachere, fahrleistungsabhängige Mautkonzepte zu setzen, die weniger auf einen Lenkungseffekt abzielen, als auf die Reduktion des gesamten Verkehrs und eine Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur ermöglichen. Für die Beantwortung dieser Fragen sind aber weitere Studien erforderlich.

### **Ausblicke**

Ein in Zukunft besonders wichtiger Aspekt ist die Interoperabilität von Mautsystemen, die in Kapitel 6.5 diskutiert wurde. Die in den nächsten Monaten von der europäischen Union erwarteten Entscheidungen bezüglich der Merkmale eines einheitlichen Mautdienstes in der EU werden die Architektur neuer Systeme stark beeinflussen. Jeder Mautbetreiber wird versuchen die neuen Vorgaben zu erfüllen, um die Systemkosten nicht durch Zusatzsysteme unnötig in die Höhe zu treiben. Es ist also nicht unbedingt eine Frage der Technologien welche Mautsysteme die Zukunft bringen wird, sondern der internationalen und nationalen politischen Entscheidungen. Bevor die Politik aber den Schritt wagen wird, das niederrangige Straßennetz zu bemaufen, ist eine fahrleistungsabhängige Gebührenerhebung für alle Fahrzeuge am hochrangigen Straßennetz das wahrscheinlichste Ziel.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Entwicklung des Personen und Güterverkehrs auf der Straße (PKW und LKW) in Österreich (Umweltbundesamt 2003).....	9
Abb. 2: Vernetzung von Verkehrstelematik-Komponenten (TLP 2004, S.3) .....	12
Abb. 3: Darstellung der unterschiedlichen Bemessungsarten (eigene Darstellung).....	13
Abb. 4: Konzept des Offenen Mautsystems (Wieden 2001) .....	16
Abb. 5: Konzept eines geschlossenen Mautsystems (Wieden 2001) .....	17
Abb. 6: Prinzipeller Aufbau eines autonomen Mautsystems mit Überwachungsbalken (Hirschmann 2005) .....	18
Abb. 7: Kategoriengruppen nach RAS-N (Weise, Durth 1997, S.56).....	23
Abb. 8: Verflechtungsmöglichkeiten von Verkehrsströmen (Weise, Durth 1997).....	26
Abb. 9: DSRC Kommunikation zwischen OBE und RSE (ITU Recommendation R M 1453, 2000) .....	47
Abb. 10: Ablauf des Nutzenvorgangs beim österreichischen Mautsystem.....	57
Abb. 11: Automatischer Kontrollvorgang im deutschen LKW-Mautsystem (Macos 2003).....	63
Abb. 12: Zweistreifige Fahrbahn mit eingezeichneter Positionierungsabweichung von 4m .	77
Abb. 13: Potentieller Mautstreckenabschnitt der B10 (Mapsolute 2005).....	79
Abb. 14: Möglicher Aufbau einer Mautstation in Drauf- und Seitenansicht (Ambrosch 2006)	80
Abb. 15: Aufbau einer Mautstelle mit nur einem Masten (Transport for London 2005) .....	81
Abb. 16: Aufbau des offenen Mautsystems (Mapsolute 2005) .....	82
Abb. 17: Streckenabschnitt mit besonderem Umfahrungspotential (Kartenmaterial: Mapsolute 2005) .....	82
Abb. 18: Umsetzung als geschlossenes Mautsystem (Kartenmaterial: Mapsolute 2005) .....	85
Abb. 19: Parallelstraße zur B10 bei Gallbrunn (Kartenmaterial: Mapsolute 2005).....	86
Abb. 20: Mautstelle in Seitenansicht und Draufsicht.....	106

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Externe Kosten und Infrastrukturkosten einer Lkw-Autobahnfahrt über 100km zu Schwachlastzeiten (Europäische Kommission 2001, S.85).....	7
Tabelle 2: Eingebürgerte Begriffe für Mautsysteme .....	12
Tabelle 3: Anforderungskriterien für Straßennetze (Weise, Durth 1997) .....	20
Tabelle 4: Durch die Bundesländer geregelte öffentliche Straßenarten des niederrangigen Straßennetzes .....	22
Tabelle 5: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Straßenkategorien nach RAS-N (1988) (Wiese, Durth 1997, S.59) .....	24
Tabelle 6: Straßenkategorien nach RAS-N (1988) .....	25
Tabelle 7: mögliche Knotenpunktdifferenzierungen (Weise, Durth 1997) .....	26
Tabelle 8: Länge des in Betrieb befindlichen Straßennetzes nach Straßenarten (BMVIT, 2005) .....	28
Tabelle 9: Kenndaten von hoch- und niederrangigem Straßennetz.....	29
Tabelle 10: Benötigte Informationen zur Umsetzung der Mautsystem-Funktionen .....	32
Tabelle 11: Kenndaten elektronischer Mautsysteme (DESIRE 2001).....	35
Tabelle 12: Externe Einflussfaktoren auf notwendige Daten .....	36
Tabelle 13: mögliche Registrierungsdaten .....	37
Tabelle 14: Kategorisierungsdaten und mögliche Datenquellen.....	38
Tabelle 15: mögliche Gebührenerhebungsdaten der Detektionsfunktion im offenen Mautsystem .....	40
Tabelle 16: mögliche Gebührenerhebungsdaten der Detektionsfunktion im geschlossenen Mautsystem .....	40
Tabelle 17: mögliche Gebührenerhebungsdaten der Detektionsfunktion im autonomen Mautsystem .....	41
Tabelle 18: Basistechnologien zur Erfassung der Primärdaten .....	44
Tabelle 19: Erlaubte Spektrale Leistungsdichte S in unterschiedlichen Frequenzbereichen (Jordán 2001) .....	49
Tabelle 20: Auflösung der unterschiedlichen Galileo Services (Europäische Kommission 2002) .....	51
Tabelle 21: Max. Leistungsdichte bei den standardisierten DSRC Frequenzen (Jordán, 2001) .....	53
Tabelle 22: Wiederverwendungsabstand für unterschiedliche DSRC Technologien (Jordán, 2001) .....	54
Tabelle 23: Bitrate für unterschiedliche DSRC Technologien (Jordán, 2001) .....	54
Tabelle 24: ko-finanzierte EU Projekte zur Mautsysteminteroperabilität .....	67
Tabelle 25: Verkehrsqualitätsstufen in Anlehnung an das Highway Capacity Manual (HCM) (Weise, Durth 1997).....	71
Tabelle 26: Grenzwerte der mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeiten und der entsprechend zulässigen Verkehrsstärken auf einbahnig, zweistreifigen Straßen unter günstigen Verkehrsbedingungen (Reise, Durth 1997 zitiert von Brilon et al. 1993) .....	72
Tabelle 27: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) gemessen bei der Zählstelle Bruckneudorf auf der B10 (Zählstellendaten der ASFINAG 2003, 2004, 2005).....	73
Tabelle 28: Zusammenfassung der Umsetzungsmöglichkeiten eines Mautsystems auf der B10.....	90

## Abkürzungsverzeichnis

ANPR	automatic number plate recognition
ANSI	American National Standards Institute
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ASTM	American Society for Testing and Materials
BGBI	Bundesgesetzblatt
bmvit	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BStG	Bundesstraßengesetz
CCD	charge-coupled device
CEN	Europäischen Komitee für Normung
CENELEC	Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
CS	Commercial Service
dB	Dezibel
dB(A)	Dezibeleinheit für Schallpegel nach der A-Bewertungskurve
DESIRE	Designs for Interurban Road Pricing Schemes in Europe
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
EFC	Electronic Fee Collection
ERP	Electronic Road Pricing
ETCS	European Train Control System
EU	Europäische Union
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GHz	Gigahertz
GLONASS	Globales Navigations-Satelliten-System
GNSS/CN	Navigation Satellite System / Cellular Network
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
hzG	höchstzulässiges Gesamtgewicht
ICNIRP	International Commission on Non-Ionising Radiation Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IR	Infrarot
ISDN	Integrated Services Digital Network
IU	Invehicle Units
IVS	Institut für Verkehrssystemplanung
kg	Kilogramm
kHz	Kiloherz
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LGBl	Landesgesetzblatt
Lkw	Lastkraftwagen
MW	Mikrowelle
nm	Nanometer
NOx	Stickstoff
OBE	On-board equipment
OBU	On-board unit
OCR	Optical Character Recognition
OS	Open Access Service

PC	Personal Computer
PIN	Persönliche Identifikationsnummer
Pkw	Personenkraftwagen
PRS	Public Regulated Service
RADAR	Radio Detecting and Ranging
RAS	Richtlinien für die Anlage von Straßen
RF	Radiofrequenz
RIS	Rechtsinformationssystem
RSE	Roadside Equipment
RUC	Road user charging
RVS	Richtlinie Verkehrsweg Straße
SMS	Short Message Service
SNR	Signal Noise Ration, Signal-Rausch-Verhältnis
SoL	Safety of Life Service
TC278	Technisches Komitee 278 , Road transport and traffic telematics
TLP	Telematikrahmenplan
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WLAN	Wireless Lan (Wireless Local Area Network)

## Literaturverzeichnis

- ASFINAG, 2004. Verkehrsverlagerungen vom Autobahn- und Schnellstraßennetz nach Einführung der LKW-Maut im 2. und 3. Quartal 2004 Kurzfassung [online]. Wien, ASFINAG Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktengesellschaft. Verfügbar bei: [http://www.asfinag.at/maut/files/Verlager\\_EndBericht\\_Kurz.pdf](http://www.asfinag.at/maut/files/Verlager_EndBericht_Kurz.pdf) [Zugang am 20. Februar 2006]
- ASFINAG, 2006a. Nutzfahrzeuge-Maut[online]. Wien, ASFINAG Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktengesellschaft. Verfügbar bei: [http://www.asfinag.at/maut/maut\\_neu/2\\_2\\_1\\_1.htm#gobox](http://www.asfinag.at/maut/maut_neu/2_2_1_1.htm#gobox) [Zugang am 5. Februar 2006]
- ASFINAG, 2006b. Rechtliche Grundlagen [online]. Wien, ASFINAG Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktengesellschaft. Verfügbar bei: [http://www.asfinag.at/maut/maut\\_neu/2\\_4\\_2.htm](http://www.asfinag.at/maut/maut_neu/2_4_2.htm) [Zugang am 12. Februar 2006]
- ASFINAG, 2006c. Nutzfahrzeuge-Maut Tarife [online]. Wien, ASFINAG Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktengesellschaft. Verfügbar bei: [http://www.asfinag.at/maut/maut\\_neu/2\\_2\\_1\\_2.htm](http://www.asfinag.at/maut/maut_neu/2_2_1_2.htm) [Zugang am 12. Februar 2006]
- BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), 2005. Statistik Straße und Verkehr – Jänner 2005. A-1030 Wien, Radetzkystraße 2: Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Abteilung II/ST1
- BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), 2004. Endbericht REGINA – Rechtliche Rahmenbedingungen für Aufbau und Betrieb Intelligenter Infrastruktur. A-1010 Wien, Renngasse 5: Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Abteilung II/ST1
- BPB, 2006. Bundeszentrale für politische Bildung - Lexika [online]. Bonn: Bundeszentrale für Politische Bildung Verfügbar bei: [http://www.bpb.de/popup/popup\\_lemmata.html?guid=UCI91K](http://www.bpb.de/popup/popup_lemmata.html?guid=UCI91K) [Zugang am 8. Mai 2006]
- Bundesstraßengesetz, 1971. Bundesgesetz vom 16. Juli 1971, betreffend die Bundesstraßen (Bundesstraßengesetz 1971 – BStG 1971). Wien: Republik Österreich
- Bundesstraßen-Mautgesetz, 2002. 109. Bundesgesetz über die Mauteinhebung auf Bundesstraßen (Bundesstraßen-Mautgesetz 2002 – BStMG). Wien: Republik Österreich
- Bundesstraßen-Übertragungsgesetz, 2002. 50. Bundesgesetz: Bundesstraßen-Übertragungsgesetz. Wien: Republik Österreich
- Cerwenka, P. et al., 2003. Grundlagen der Verkehrsplanung – Materialien zur Vorlesung. Wien: Österreichischer Kunst- und Kulturverlag
- DESIRE, 2001. Designs for Interurban Road Pricing Schemes in Europe – Inception Report [online]. Verfügbar bei: <http://www.tis.pt/proj/Desire/PDF/DESINCEPFINAL.zip> [Zugang am 20. Februar 2006]
- DESIRE, 2003. Designs for Interurban Road Pricing Schemes in Europe – Deliverable 5 Identification of best functional schemes and implementation issues [online]. Verfügbar bei: [http://www.tis.pt/proj/Desire/PDF/Desire\\_D5.zip](http://www.tis.pt/proj/Desire/PDF/Desire_D5.zip) [Zugang am 20. Februar 2006]
- Duden, 2006. Duden Suche [online].Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG Verfügbar bei: <http://www.duden.de/> [Zugang am 8. Mai 2006]
- Egeler, C., 2004. Interoperability of EFC: What does it mean? How can it be achieved [online]. Basel: Rapp Trans AG. Verfügbar bei: [http://www.rapp.ch/documents/papers/Interoperability%2026feb04\\_ChE.pdf](http://www.rapp.ch/documents/papers/Interoperability%2026feb04_ChE.pdf) [Zugang am 25. März 2006]

- Europäische Kommission, 2001. Weissbuch – Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft, Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften
- Europäische Kommission, 2003. The Galilei Project – GALILEO Design Consolidation [online]. UK:ESYS pic. Verfügbar bei: [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galilei\\_brochure.pdf](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/doc/galilei_brochure.pdf) [Zugang am 28. Februar 2006]
- Europäische Union, 2004. RICHTLINIE 2004/52/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 über die Interoperabilität elektronischer Mautsysteme in der Gemeinschaft [online]. Luxembourg, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften. Verfügbar bei: [http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/de/oj/2004/l\\_200/l\\_20020040607de00500057.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/de/oj/2004/l_200/l_20020040607de00500057.pdf) [Zugang am 25. Februar 2005]
- EUROPASS LKW-Mautsystem GmbH, 2006a. Mautportale ermöglichen das bequeme Abbuchen der Maut [online]. Berlin, Linkestraße4: Toll Collect GmbH. Verfügbar bei: <http://www.go-maut.at/go/Article.asp?ID=347&Navi=3> [Zugang am 4. Februar 2006]
- EUROPASS LKW-Mautsystem GmbH, 2006b. Mehr Komfort mit der Maut Nachverrechnung [online]. Berlin, Linkestraße4: Toll Collect GmbH. Verfügbar bei: <http://www.go-maut.at/go/Article.asp?ID=8277&Navi=3> [Zugang am 5. Februar 2006]
- FSV, 2004. FSV aktuell August 2004, Gestaltung von Straßenräumen [online]. Wien:Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse - Schiene - Verkehr. Verfügbar bei: <http://www.fsv.at/publikationen/getfsvaktuell.aspx?ID=1205> [Zugang am 20.3.2006]
- Vieweg, S.,1999. Verkehrsdatenerfassung. In: Evers, J. & Kasties, G. Hrsg. 4. Auflage. Kompendium der Verkehrstelematik Technologien, Applikationen, Perspektiven. Köln:TÜV Verlag GmbH, Kapitel 07210.
- Herry, M., 2002. Verkehr in Zahlen – Österreich Ausgabe 2002 [online]. Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Abteilung K4. Verfügbar bei: <http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/zahlen/index.html> [Zugang 27. Februar 2006]
- Hirschmann, K.,2005. Nutzung von verkehrsrelevanten Daten aus einem System zur Erfassung des fahrleistungsabhängigen Autobahntgelteltes zur Verbesserung der Verkehrssteuerung und zur Bildung von Verkehrsinformationsdienstleistungen. Diplomarbeit. Fachhochschule Kapfenberg.
- Hoppe, H., 2004. Externe Kosten des Verkehrs – Aktualisierung der Studie von INFAS und IWW aus dem Jahr 2000 [online]. Verfügbar bei: [http://www.bund.net/verkehr/themen/themen\\_32/files/3160\\_hoppe\\_zusammenfassung.pdf](http://www.bund.net/verkehr/themen/themen_32/files/3160_hoppe_zusammenfassung.pdf) [Zugang 4. März 2006]
- ITU Recommendation R M 1453, 2000. Transport Information and Control Systems – Dedicated Short Range Communication at 5,8GHz. 1211 Geneve:International Telecommunication Union
- Jordán, J. & Soriano, F. & Graullera, D. & Martín, G., 2001. A comparison of different technologies for EFC and other ITS applications. Oakland (CA) USA: 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings
- Kapsch TrafficCom AG, 2001. Beacons BHC1210 and BHC1310. Wagenseilgasse 1, A-1120 Wien: Kapsch TrafficCom AG
- Kapsch, 2006a. Kapsch TrafficLaser MultiLane [online]. Wagenseilgasse 1, A-1120 Wien: Kapsch TrafficCom AG. Verfügbar bei: [http://www.kapsch.at/TrafficCom/de/produkte/files/KTC\\_MultiLane.pdf](http://www.kapsch.at/TrafficCom/de/produkte/files/KTC_MultiLane.pdf) [Zugang am 15. Februar 2006]

- Kapsch, 2006b. Single Lane Systeme [online]. Wagenseilgasse 1, A-1120 Wien: Kapsch TrafficCom AG. Verfügbar bei: [http://www.kapsch.net/TrafficCom/de/4941\\_DEU\\_HTMLExtranetCD.htm](http://www.kapsch.net/TrafficCom/de/4941_DEU_HTMLExtranetCD.htm) [Zugang am 18. Februar 2006]
- Kapsch, 2006c. MultiLane Freeflow [online]. Wagenseilgasse 1, A-1120 Wien: Kapsch TrafficCom AG. Verfügbar bei: [http://www.kapsch.net/TrafficCom/de/4932\\_DEU\\_HTMLExtranetCD.htm](http://www.kapsch.net/TrafficCom/de/4932_DEU_HTMLExtranetCD.htm) [Zugang am 18. Februar 2006]
- Kian Keong, C., 2002. Road Pricing Singapore's Experience. In: 3. seminar of the IMPRINT-Europe Thematic Network: "Implementing Reform on Transport Pricing: Constraints and solutions: learning from best practice", Brussels, 23<sup>rd</sup> – 24<sup>th</sup> October 2002.
- Kribernegg, G., 2005. Großflächiges Road Pricing für Pkw – Zwischen Theorie und Wirklichkeit – Ein Diskussionsbeitrag. Internationales Verkehrswesen, 5/2005 (57), 205-209.
- Laimer, C., 2004. IVS-Schriften Harmonisierung der elektronischen LKW-Mautsysteme auf Fernstraßen in Europa. Wien:Österreichischem Kunst- und Kulturverlag
- Litman, T., 2005. London Congestion Pricing – Implications for Other Cities. 1250 Rudlin Street, Victoria, BC, V8V 3R7, Canada:Victoria Transport Policy Institute
- Macos, D., 2003. Daimler Chrysler – Systembeschreibung ETC Deutschland. Verfügbar bei: <http://www.dcl.hpi.uni-potsdam.de/teaching/mobilitySem03/slides/tollcollect.pdf> [Zugang am 7. Februar 2006]
- Mapsolute, 2005. Kartenmaterial aus Österreich [online]. Verfügbar bei: <http://www.de.map24.com/> [Zugang am 10. März 2006]
- Menon, G., 2003. Evaluation of Singapore's Road Pricing System (1998 – present). In: International Symposium on Road Pricing 2003, November 19-22 2003 Sonesta Beach Hotel Key Biscane.
- Oehry, B., 2004. Tolling with Satellites – a Concept for Everybody? [online]. Basel, Rapp Trans AG. Verfügbar bei: [http://www.rapp.ch/documents/papers/Budapest\\_Satellite\\_tolling\\_paper.pdf](http://www.rapp.ch/documents/papers/Budapest_Satellite_tolling_paper.pdf) [Zugang am 15. Februar 2006]
- OÖNachrichten, 2005.Heftige Diskussion um neue Maut[online]. Linz: OÖN Redaktion GmbH & CoKG. Verfügbar bei: <http://www.nachrichten.at/wirtschaft/380232> [Zugang am 3. März 2006]
- ORF, 2006. Stenzel überlegt City-Maut [online]. Wien:ORF Online und Teletext GmbH. Verfügbar bei: <http://wien.orf.at/stories/86333/> [Zugang am 3. März 2006]
- Paukerl, A., 2004. Methoden der Verkehrsdatenerfassung, Datensynergien und Trends der Datenvermarktung. Master Thesis. Donau Universität Krems.
- Pressestelle der Europäischen Kommission, 2005. Nachhaltiger Verkehr: Hin zu einer gerechten Tarifierung der Infrastrukturnutzung [online]. Brüssel, Pressestelle der Europäische Kommission. Verfügbar bei: <http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/05/1614&format=HTML&aged=0&language=DE&guiLanguage=en> [Zugang am 25. Februar 2006]
- Rapp, M., 2004. Technik des Road Pricing [online]. Basel, Rapp Trans AG. Verfügbar bei: [http://www.rapp.ch/documents/papers/RoadPricing\\_tec21\\_v1.1.pdf](http://www.rapp.ch/documents/papers/RoadPricing_tec21_v1.1.pdf) [Zugang 15. Februar 2006]
- RIS, 2006a. NÖ Straßengesetz 1999 [online]. Verfügbar bei: <http://www.ris.bka.gv.at/taweb/cgi/taweb?x=d&o=d&v=lrni&d=LRNI&i=891&p=1&q=%20und%20%28Stra%DFengesetz%29> [Zugang am 1. März 2006]
- RIS, 2006b. Rechtsinformationssystem Kärnten, 2006.Kärnter Straßengesetz 1991- K-StrG LGBl Nr 72/1991 [online]. Verfügbar bei: [http://www.ris.bka.gv.at/taweb/cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrkt&db=LRKT&q={\\$QUERY}&sl=1500&t=doc2.tpl&s=\(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT\)%20und%20\(1000135\):GESNR%20und%20\(0\):PAR](http://www.ris.bka.gv.at/taweb/cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrkt&db=LRKT&q={$QUERY}&sl=1500&t=doc2.tpl&s=(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT)%20und%20(1000135):GESNR%20und%20(0):PAR)

- [A&s=LRKT%FFSORT+%FF\(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT\)%20und%20\(10000135\):GESNR%20und%20nicht%20\(0\):PARA](#) [Zugang am 1. März 2006]
- RIS, 2006c. Landesgesetz vom 24. Mai 1991 über die öffentlichen Straßen mit Ausnahme der Bundesstraßen (Oö. Straßengesetz 1991) [online]. Verfügbar bei: [http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lroo&db=LROO&q={\\$QUERY}&sl=1500&t=doc2.tpl&s=\(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT\)%20und%20\(10000313\):GESNR%20und%20\(0\):PARA&s=LROO%FFSORT+%FF\(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT\)%20und%20\(10000313\):GESNR%20und%20nicht%20\(0\):PARA](http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lroo&db=LROO&q={$QUERY}&sl=1500&t=doc2.tpl&s=(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT)%20und%20(10000313):GESNR%20und%20(0):PARA&s=LROO%FFSORT+%FF(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT)%20und%20(10000313):GESNR%20und%20nicht%20(0):PARA) [Zugang am 1. März 2006]
- RIS, 2006d. Salzburger Landesstraßengesetz 1972 - LStG. 1972 StF: LGBl Nr 119/1972 (WV) [online]. Verfügbar bei: [http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrsb&db=LRSB&q={\\$QUERY}&sl=1500&t=doc2.tpl&s=\(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT\)%20und%20\(10000206\):GESNR%20und%20\(0\):PARA&s=LRSB%FFSORT+%FF\(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT\)%20und%20\(10000206\):GESNR%20und%20nicht%20\(0\):PARA](http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrsb&db=LRSB&q={$QUERY}&sl=1500&t=doc2.tpl&s=(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT)%20und%20(10000206):GESNR%20und%20(0):PARA&s=LRSB%FFSORT+%FF(20060322%3E=IDAT%20und%2020060322%3C=ADAT)%20und%20(10000206):GESNR%20und%20nicht%20(0):PARA) [Zugang am 1. März 2006]
- RIS, 2006e. Steiermärkisches Landes-Straßenverwaltungsgesetz 1964 - LStVG. 1964 [online]. Verfügbar bei: [http://ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrst&db=LRST&q={\\$QUERY}&sl=1500&t=doc4.tpl&s=\(LRST/8500/001\):DOKNR](http://ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrst&db=LRST&q={$QUERY}&sl=1500&t=doc4.tpl&s=(LRST/8500/001):DOKNR) [Zugang am 1. März 2006]
- RIS, 2006f. Gesetz vom 16. November 1988 über die öffentlichen Straßen und Wege (Tiroler Straßengesetz) LGBl. Nr. 13/1989 [online]. Verfügbar bei: [http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrti&db=LRTI&q={\\$QUERY}&sl=1500&t=doc2.tpl&s=\(20060405%3E=IDAT%20und%2020060405%3C=ADAT\)%20und%20\(20000250\):GESNR%20und%20\(0\):PARA&s=LRTI%FFSORT+%FF\(20060405%3E=IDAT%20und%2020060405%3C=ADAT\)%20und%20\(20000250\):GESNR%20und%20nicht%20\(0\):PARA](http://www.ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrti&db=LRTI&q={$QUERY}&sl=1500&t=doc2.tpl&s=(20060405%3E=IDAT%20und%2020060405%3C=ADAT)%20und%20(20000250):GESNR%20und%20(0):PARA&s=LRTI%FFSORT+%FF(20060405%3E=IDAT%20und%2020060405%3C=ADAT)%20und%20(20000250):GESNR%20und%20nicht%20(0):PARA) [Zugang am 1. März 2006]
- RIS, 2005g. Gesetz über den Bau und die Erhaltung öffentlicher Straßen sowie über die Wegefreiheit [online]. Verfügbar bei: [http://ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrvb&db=LRVB&q={\\$QUERY}&sl=1500&t=doc4.tpl&s=\(STRA%DFENGESETZ\):KTIT](http://ris.bka.gv.at/taweb-cgi/taweb?x=d&o=l&v=lrvb&db=LRVB&q={$QUERY}&sl=1500&t=doc4.tpl&s=(STRA%DFENGESETZ):KTIT) [Zugang am 1. März 2006]
- Steininger, K. & Gobiet, W., 2005. Technologien und Wirkungen von Pkw-Road-Pricing im Vergleich. Graz:Verlag der Technischen Universität Graz
- Sutter, D. & Maibach, M. & Peter, M. & Keller, M. & Rapp M. & Yen, R. & Egeler C., 2006. SVI – Forschungsprojekt 2001/523 Road Pricing Modelle auf Autobahnen und in Stadtregionen – Schlussbericht [online]. Basel, Rapp Trans AG. Verfügbar bei: <http://www.rapp.ch/documents/download/svi-roadpricing-zus-d.pdf> [Zugang 15. Februar 2006]
- TLP, 2004. Telematikrahmenplan – Rahmenplan für den Einsatz von Telematik im österreichischen Verkehrssystem. Wien:via donau – Entwicklungsgesellschaft mbH für Telematik und Donauschiffahrt im Auftrag des bmvit
- Toll Collect GmbH – Pressestelle, 2005. Das ABC des LKW-Mautsystems – Januar 2005 [online]. Linkstraße 4, D-10785 Berlin, Toll Collect GmbH - Pressestelle. Verfügbar bei: <http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/mautabc.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9EDCE6127AAF4011C1498E> [Zugang 7. Februar 2006]
- Toll Collect GmbH – Pressestelle, 2006a. Basiswissen #002 – Die Ortung im Automatischen Verfahren [online]. Linkstraße 4, D-10785 Berlin, Toll Collect GmbH - Pressestelle. Verfügbar bei: [http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/basiswissen\\_technologie\\_ortung.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9EDCE6127AAF4011C1498E](http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/basiswissen_technologie_ortung.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9EDCE6127AAF4011C1498E) [Zugang 7. Februar 2006]
- Toll Collect GmbH – Pressestelle, 2006b. Basiswissen #005 – Die Stützbake [online]. Linkstraße 4, D-10785 Berlin, Toll Collect GmbH - Pressestelle. Verfügbar bei: [http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/basiswissen\\_stuetzbake.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9EDCE6127AAF4011C1498E](http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/basiswissen_stuetzbake.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9EDCE6127AAF4011C1498E) [Zugang 7. Februar 2006]

- Toll Collect GmbH – Pressestelle, 2006c. Basiswissen #007 – Die Kontrollbrücke [online]. Linkstraße 4, D-10785 Berlin, Toll Collect GmbH - Pressestelle. Verfügbar bei: [http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/basiswissen\\_kontrollbruecke.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9EDC E6127AAF4011C1498E](http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/basiswissen_kontrollbruecke.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9EDC E6127AAF4011C1498E) [Zugang 7. Februar 2006]
- Toll Collect GmbH – Pressestelle, 2006d. Basiswissen #001 – Die Einbuchungsarten [online]. Linkstraße 4, D-10785 Berlin, Toll Collect GmbH - Pressestelle. Verfügbar bei: [http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/basiswissen\\_einbuchungsarten.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9E DCE6127AAF4011C1498E](http://www.toll-collect.de/pdf/de/pressemappe/basiswissen_einbuchungsarten.pdf;jsessionid=359AFBA5EA9E DCE6127AAF4011C1498E) [Zugang 7. Februar 2006]
- Transport for London, 2005. London Congestion Charging Technology Trials Stage 1 Report [online]. London, Transport for London. Verfügbar bei: <http://www.tfl.gov.uk/tfl/downloads/pdf/congestion-charging/technology-trials.pdf> [Zugang am 10. Februar 2006]
- Transport for London, 2006a. Congestion Charging – the 11 Key Numbers [online]. London, Transport for London. Verfügbar bei: [http://www.tfl.gov.uk/tfl/cclondon/cc\\_fact\\_sheet\\_key\\_numbers.shtml](http://www.tfl.gov.uk/tfl/cclondon/cc_fact_sheet_key_numbers.shtml) [Zugang am 10. Februar 2006]
- Transport for London, 2006b. Congestion Charging – How to pay the charge [online]. London, Transport for London. Verfügbar bei: [http://www.tfl.gov.uk/tfl/cclondon/cc\\_fact\\_sheet\\_how\\_to\\_pay.shtml](http://www.tfl.gov.uk/tfl/cclondon/cc_fact_sheet_how_to_pay.shtml) [Zugang 10. Februar 2006]
- Transport for London, 2006c. Western Extension to the Congestion Charge [online]. London, Transport for London. Verfügbar bei: <http://www.tfl.gov.uk/tfl/cc-ex/index.shtml> [Zugang 10. Februar 2006]
- Umweltbundesamt GmbH, 2003. Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs auf der Strasse (PKW und LKW) [online]. Wien, Umweltbundesamt GmbH. Verfügbar bei: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/verkehr/verkehrsentwicklung/strasse/> [Zugang am 3. Februar 2006]
- Wegekosten-Richtlinie, 1999. Richtlinie 1999/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1999 über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge [online]. Luxemburg, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften. Verfügbar bei: <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0062:DE:HTML> [Zugang am 5. Februar 2006]
- Weise, G. & Durth, W., 1997. Straßenbau: Planung und Entwurf. 3. Ed. Berlin: Verlag für Bauwesen GmbH.
- Wieden, R., 2001. Elektronische Mautsysteme – Verkehrstelematik im Finanz-Einsatz. In: Günther, J. Hrsg. Verkehrstelematik Band 11 der Schriftenreihe Telekommunikation, Information und Medien. Krems: Donau-Universität-Krems, 145-152.
- Wiener Stadtverfassung, 2006. Verfassung der Bundeshauptstadt Wien (Wiener Stadtverfassung – WStV) [online]. Verfügbar bei: <http://www.wien.gv.at/recht/landesrecht-wien/rechtsvorschriften/html/v0010000.htm> [Zugang am 1. März 2006]
- Wikipedia 2006, Maut [online]. Verfügbar bei: <http://de.wikipedia.org/wiki/Maut> [Zugang am 1. Februar 2006]
- Wortmann-Kool, C. 2005. Empfehlungen für die zweite Lesung zu dem Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge [online]. Straßburg, Europäisches Parlament. Verfügbar bei: <http://www.europarl.eu.int/omk/sipade3?L=DE&OBJID=104617&LEVEL=5&MODE=SIP&NAV=X&LSTDOC=N> [Zugang am 26. Februar 2006]

Zählstellendaten der ASFINAG, 2003,2004,2005. Automatische Dauerzählstellen[online]. Verfügbar bei: [http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2003/DZ03Q4\\_G.DBF](http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2003/DZ03Q4_G.DBF),  
[http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2004/2004\\_1qu\\_gesN.dbf](http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2004/2004_1qu_gesN.dbf),  
[http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2004/2004\\_2qu\\_gesN.dbf](http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2004/2004_2qu_gesN.dbf),  
[http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2004/2004\\_3qu\\_gesN.dbf](http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2004/2004_3qu_gesN.dbf),  
[http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2004/2004\\_4qu\\_gesN.dbf](http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2004/2004_4qu_gesN.dbf),  
[http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2005/2005\\_1q\\_gesN.dbf](http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2005/2005_1q_gesN.dbf),  
[http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2005/2005\\_2q\\_gesN.dbf](http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2005/2005_2q_gesN.dbf),  
[http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2005/2005\\_3q\\_gesN.dbf](http://www.asfinag.at/services/zaehlstellen/2005/2005_3q_gesN.dbf) [Zugang am 6. März 2006]

## Anhang

### ANHANG A Expertengespräch mit Hr. DI Dr. Karl Ernst Ambrosch

**Teilnehmer:** DI Dr. Karl Ernst Ambrosch  
Michael Polt

**Ort:** Mariahilferstraße 40-48, 1070 Wien  
**Datum:** 15.03.2006, 20:00

**Thema: Mauttechnologien – Anwendbarkeit, Ansätze, Systeme**

Bei dem mit Herrn Ambrosch geführten Expertengespräch wurde speziell über die unterschiedlichen DSRC Technologien (Infrarot, Mikrowelle) und deren Einsatz in Mautsystemen diskutiert.

Infrarot DSRC verfügt über eine höhere mögliche Reichweite als Mikrowellen DSRC, was auch mögliche Zusatzdienste wie ad hoc Netze (z.B. Kommunikation zwischen Fahrzeugen) erlaubt.

Mikrowellen DSRC wurde speziell für Mautsysteme entwickelt, und für Europa durch die CEN (Comité Européen de Normalisation) durch das Technische Komitee TC278 im 5,8GHz Bereich standardisiert. Diese Normen werden als Standards ebenso in Australien, Südamerika, Afrika und Asien verwendet. Die Datenraten wurden in diesem Standard auf 250kbps (Uplink) und 500kbps (Downlink) festgelegt. Obwohl die Datenübertragungsrate auf den ersten Blick niedrig erscheint, weist Herr Ambrosch darauf hin, dass für die gesamte Kommunikation bei einer Mauttransaktion zwischen Mautbake und den vorbeifahrendem Fahrzeug nur ca. 100Byte (im österreichischen Mautsystem, 300Byte im deutschen Lkw-Mautsystem) benötigt, wobei der gesamte Vorgang ca. 20-30ms dauert. Bei einer typischen Kommunikationszone von 5m kann die Kommunikation (bestehend aus mehreren Sende-/Empfangsvorgängen) wenn nötig teilweise oder zur Gänze ohne Probleme wiederholt werden.

Für die Infrarot DSRC Kommunikation ist eine Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger notwendig, eine getönte oder verschmutzte Seite hat also einen störenden Einfluss auf die Übertragung.

Bei einer Übertragung im Mikrowellenbereich ist keine Sichtverbindung notwendig, Metalle können hierbei jedoch nicht durchdrungen werden, weshalb eine metallbeschichtete Windschutzscheibe zu Problemen bei der Datenübertragung führen kann. In Österreich hat man das Problem durch die Einführung einer alternativen Fahrzeugeinheit („Split Go-Box“) umgangen, bei der die Antenne außerhalb des Fahrzeugs angebracht wird (allerdings wurden weniger als zehn dieser Geräte ausgegeben, d.h. metallisierte Scheiben sind bei LKWs und Bussen kaum verbreitet). Für eine Übertragung muss nach dem DSRC Standard eine Bit-Error-Rate von  $10^{-6}$  gewährleistet werden.

Die Kosten für den Kommunikationskanal liegen für beide DSRC Varianten in einem ähnlichen Bereich. Bei der On-board unit sind die Kosten wesentlich vom Aufbau der Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI – Human machine interface) abhängig. Je komplexer dieses Interface ausgestaltet wird, umso teurer wird die OBU. Ein einzeliges Display für eine OBU führt wegen des großen Temperaturbereichs im KFZ bei Betrieb etwa zu einer Verdoppelung der Herstellkosten. Andererseits ist eine lange Laufzeit für batteriebetriebene OBUs ebenfalls erforderlich, weshalb man auf eine ebenso einfache, wie energiesparende Ausgestaltung Wert legen muss.

Für den Aufbau von Mautbalken am nachrangigen Straßennetz auf einer zweistreifigen Straße empfiehlt Herr Ambrosch folgende Variante:

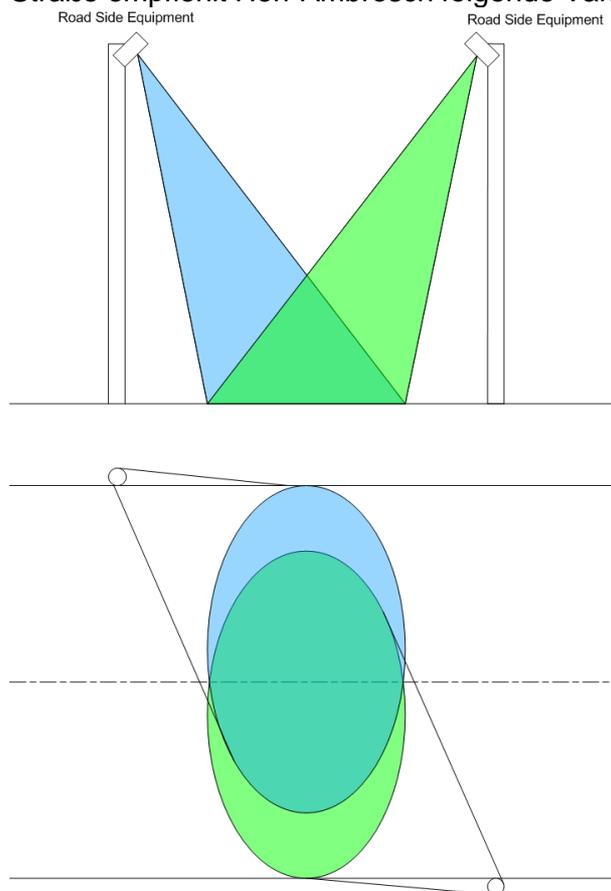


Abb. 20: Mautstelle in Seitenansicht und Draufsicht

Hierbei werden 2 Masten versetzt am Straßenrand aufgestellt. Mit 2 Funkbaken kann die gesamte zweispurige Fahrbahn so abgedeckt werden, dass auch überholende Fahrzeuge erfasst werden. Dass die beiden DSRC Einheiten zueinander gerichtet sind verursacht keine Probleme in der Umsetzung (mehrere mögliche Kommunikationsbänder). Der Wiederbenutzungsabstand zwischen zwei Mautstationen liegt bei ca. 70m. Die im DESIRE Project abgeschätzten Kosten von 150.000€ - 200.000€ für die Errichtung einer Mautstation werden von Herrn Ambrosch als realistisch eingestuft, wobei der Hauptanteil der Kosten auf Bau- und Stahlbaukosten, sowie die Energie- und Kommunikationsanbindung entfällt.

Einer der wichtigsten Aspekte von Mautsystemen ist nach Herrn Ambrosch die Umsetzung des Enforcements, d.h. die Überprüfung, ob alle Mautpflichtigen korrekt bezahlt haben und die Verfahren zum Eintreiben der vorenthaltenen Mautabgaben. Die gleichmäßige Kontrolle mit hoher Qualität ist dabei wesentlich. Dabei muss das bei den Mautpflichtigen das Bewusstsein geschaffen werden, dass jeder bei einem Mautvergehen erwischt wird, um so ein gezieltes Brechen der Mautordnung zu vermeiden. Wichtig ist hierbei auch, dass niemandem ungerechtfertigt ein Vergehen angelastet wird, eine rechtlich abgedeckte Beweissicherung ist unabdingbar. Mobiles Enforcement, das es der Mautaufsicht erlaubt im Vorbeifahren Fahrzeuge zu kontrollieren, ist am niederrangigen Straßennetz nicht möglich. Zusätzliche gespeicherte Informationen in der OBU, wie Einträge über die letzten passierten Mautstationen, erleichtern das Enforcement. Dadurch lassen sich beispielsweise gezielte Manipulationen der Fahrzeugklasse feststellen.

Herr Ambrosch meint weiters, dass die Einhebung der Maut (egal welche Technologien Anwendung finden) vergleichsweise trivial ist, und die Verwaltung des Systems, sowie das

Enforcement die eigentlichen wichtigen Aufgaben darstellen. Es ist sehr wichtig ein System so aufzubauen, dass möglichst wenig

- manuelle Eingriffe notwendig sind
- Störung im System auftreten
- Dinge außerhalb der Norm verwaltet werden müssen.

Beispielsweise dient ein Zweitsystem zur manuellen Einbuchung für Mautsystemnutzer ohne OBU, wie es im deutschen Mautsystem angewandt wird, der Verwaltung von Ausnahmefällen. Dies verkompliziert die gesamte Verwaltung und ebenso das Enforcement enorm. Im autonomen Lkw-Mautsystem in Deutschland ist für eine automatische Systemnutzung der Einbau der (teuren) OBU in einer vertrauenswürdigen Fachwerkstätte erforderlich und geht zu Lasten des Fahrzeughalters. Dies darf aber aufgrund des Diskriminierungsverbots der EU nicht zwingend vorgeschrieben werden, weshalb das Zweitsystem zur manuellen Einbuchung unbedingt benötigt wird.

Eine hohe Zuverlässigkeit des Systems ist ebenfalls maßgeblich. Im österreichischen Lkw-Mautsystem werden täglich ca. 2 Millionen Transaktionen zu etwa 1€ Mautentgelt durchgeführt. Eine Fehlerrate von 1% würde bedeuten, dass 20000 Transaktionen fehlschlagen. Das österreichische Mautsystem als Ganzes erreicht eine getestete Performance über 99,7%.

Im Gespräch wurde folgende weiterführende Literatur empfohlen:

CARDME - Projekt der EU zur Erreichung einer möglichst weitgehenden Interoperabilität der verschiedenen Systeme zur Erhebung von Strassengebühren

MEDIA Projekt - Lösungen für die Interoperabilität der LKW-Gebührensysteime im Alpenraum erarbeitet ([http://www.rapp.ch/documents/download/MEDIA\\_Report\\_final.pdf](http://www.rapp.ch/documents/download/MEDIA_Report_final.pdf))

Road Pricing in der Schweiz ([http://www.rapp.ch/documents/download/svi-roadpricing-sb\\_final.pdf](http://www.rapp.ch/documents/download/svi-roadpricing-sb_final.pdf))

Lorry Road User Charging England – fahrleistungabhängiges Lkw-Mautsystem England

Präsentationen über Satelitenortung der Veranstaltung: European Round Table on intelligent roads (26.01.06, Brüssel, <http://www.intelligentroads.org/content/article/detail/595/>)