



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la  
communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle  
comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Verkehrstechnische Aspekte des Mobility Pricing**

**Aspects techniques de circulation du Mobility Pricing**

**Mobility Pricing – Aspects of Traffic Engineering**

**Technische Universität Darmstadt**  
**Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik**

**SNZ – Ingenieure und Planer AG**  
**Zürich**

**ZIV – Zentrum für integrierte Verkehrssysteme GmbH**  
**Darmstadt**

**Forschungsauftrag VSS 2005/916 auf Antrag des  
Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**Februar 2007**

**1189**

## **Impressum**

Forschungsauftrag Nr. VSS 2005/916

Forschungspaket: Mobility Pricing

Teilprojekt C3: Verkehrstechnische Aspekte des Mobility Pricing

## **Auftraggeber**

Bundesamt für Strassen, ASTRA

Gesamtprojektleitung: Matthias Rapp

## **Auftragnehmer**

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Petersenstrasse 30

D-64287 Darmstadt

SNZ – Ingenieure und Planer AG

Dörflistrasse 112

CH-8050 Zürich

ZIV – Zentrum für integrierte Verkehrssysteme GmbH

Robert-Bosch-Strasse 7

D-64293 Darmstadt

## **Projektleiter**

Manfred Boltze

## **Bearbeiter**

Christine Breser, Sven Kohoutek, Jochen Korn,

Roger Laube, Nadine Roth, Axel Wolferrmann

## **Mitglieder der Begleitkommission**

Beat Zumsteg (Präsident)

Alexandra Bachmann, Daniel Baumann, Simon Benz, Nikolaus Bischofberger, Simone Fedderke, Beat Hiller, Bruno Hofstetter, Jean-Luc Poffet, Stefan Schmidt

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassungen / Abstracts / Résumés.....</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ziel.....	1
1.2 Vorgehensweise .....	1
1.3 Aufbau des Schlussberichts .....	2
1.4 Zusammenfassende Darstellung der Grundlagen .....	3
<b>2 Mautstationen .....</b>	<b>5</b>
2.1 Einleitung .....	5
2.2 Wirkungsanalyse und Bewertung .....	6
2.3 Fallbeispiel Verbindungstunnel Vedeggio - Cassarate .....	14
2.4 Handlungsempfehlungen.....	17
<b>3 Value Pricing.....</b>	<b>20</b>
3.1 Einleitung .....	20
3.2 Wirkungsanalyse und Bewertung .....	21
3.3 Handlungsempfehlungen.....	34
<b>4 Nutzung von Fahrzeuggeräten .....</b>	<b>36</b>
4.1 Einleitung .....	36
4.2 Wirkungsanalyse und Bewertung .....	36
4.3 Handlungsempfehlungen.....	37
<b>5 Parkierungseinrichtungen .....</b>	<b>39</b>
5.1 Einleitung .....	39
5.2 Wirkungsanalyse und Bewertung .....	40
5.3 Handlungsempfehlungen.....	43
<b>6 Mobile Kontrollen .....</b>	<b>45</b>
6.1 Einleitung .....	45
6.2 Wirkungsanalyse und Bewertung .....	47
6.3 Handlungsempfehlungen.....	49
<b>7 Fazit und Ausblick.....</b>	<b>50</b>
<b>Bilder .....</b>	<b>52</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>55</b>

## **Zusammenfassungen / Abstracts / Résumées**

In diesem Projekt wurden verkehrstechnische Aspekte im Zusammenhang mit Mobility Pricing untersucht. Verkehrstechnisch bedeutsam sind Systeme des Mobility Pricing, die in den Verkehrsablauf eingreifen und nicht nur elektronische Erfassungs- und Zahlungsvorgänge ohne Beeinflussung der Fahrweise erfordern. Im Mittelpunkt standen deshalb Mautstationen und Value Pricing. Auch wurde die Nutzung von Fahrzeuggeräten für elektronische Mautsysteme betrachtet, es wurden Parkierungseinrichtungen aus verkehrstechnischer Sicht beleuchtet und die Durchführung von mobilen Kontrollen analysiert. Neben einer ausführlichen Literaturrecherche und Expertenbefragungen zu Erfahrungen im In- und Ausland wurden analytische Betrachtungen und Verkehrsflusssimulationen eingesetzt.

### **Mautstationen**

Der Platzbedarf von Mautstationen hängt massgeblich von den eingesetzten Systemen und den jeweiligen Nutzeranteilen ab. Je nach Gestaltung sind Kapazitäten von 200-500 Fz/h bei einfachen Bargeldschaltern, 300-600 Fz/h für Kartenzahlung und etwa 1800 Fz/h (abhängig von der Streckenkapazität) bei elektronischen Systemen (Electronic Toll Collection, ETC) erreichbar. Entwickelte Diagramme erleichtern die Abschätzung der erforderlichen Fahrstreifenanzahl in Abhängigkeit der eingesetzten Systeme. Besonders bei hohen Auslastungen (> 90 %) können Störungen an der Mautstation sehr negative Auswirkungen im angrenzenden Strassennetz stromaufwärts haben. Besonders bei geringer Fahrstreifenanzahl und somit geringen Reservekapazitäten ist dies bei der Planung zu bedenken.

Darüber hinaus werden Sicherheitsrisiken an Mautstationen aufgezeigt, die durch Verflechtungsvorgänge, unterschiedliche Geschwindigkeiten und andere Aspekte entstehen. Das Fallbeispiel des Verbindungstunnels Vedeggio – Cassarate im Kanton Tessin veranschaulicht die Probleme, die im Zusammenhang mit Mautstationen insbesondere bei engen Platzverhältnissen auftreten. Mittels Varianten werden Lösungsmöglichkeiten erläutert.

Aus der Wirkungsanalyse werden Empfehlungen zur Reduktion von Sicherheitsrisiken durch eine geeignete bauliche Gestaltung und eine zweckmässige Information der Verkehrsteilnehmer abgeleitet. Die Beschilderung ist bereits bei der Planung von Mautstationen zu berücksichtigen, da sie besonders bei beengten Verhältnissen einen Einfluss auf die Gestaltung haben kann.

### **Value Pricing**

Eine Analyse von Value Pricing zeigt, dass unter den Gesichtspunkten der Reisezeitersparnis und Kapazitätssteigerung nur in Ausnahmefällen Vorteile zu erwarten sind. Unter der Berücksichtigung der Kapazität und Geschwindigkeit als Zufallsgrössen wurde ein dreistreifiger Abschnitt einer Hochleistungsstrasse einem zweistreifigen Abschnitt mit Value Pricing Fahrstreifen gegenübergestellt. Die Ergebnisse der Betrachtung sind stark von den Eingangsdaten (in erster Linie also Fundamentaldiagrammen) abhängig. Grundsätzlich sollte

Value Pricing aus verkehrstechnischer Sicht nur zum Einsatz kommen, wenn wirkungsvollere Massnahmen nicht realisierbar sind. In jedem Fall sind deshalb vor der Einführung von Value Pricing detaillierte Untersuchungen erforderlich, die auch Quelle-Ziel-Beziehungen und die Gestaltung der Verflechtungsbereiche näher betrachten. Auch hier ist der Beschilderung und Markierung gebührende Aufmerksamkeit zu schenken.

### **Nutzung von Fahrzeuggeräten**

Sollen elektronische Mautsysteme (ETC) eingesetzt werden, müssen die Fahrzeuge mit Geräten ausgestattet werden. Ein Verkauf dieser Geräte an der Grenze erscheint aus verkehrstechnischer Sicht nur bei Verwendung von RFID (Radio Frequency Identification) und der entsprechenden Bereitstellung von Infrastruktur und Personal denkbar. Eine Abschätzung des Platzbedarfs am Grenzübergang Basel/Weil verdeutlicht die Problematik.

### **Parkierungseinrichtungen**

Parkierungseinrichtungen sind ausführlich in den schweizer und deutschen Normen behandelt. Im Bericht werden die wesentlichen Inhalte knapp dargestellt.

### **Kontrollen**

Mobility Pricing Systeme erfordern in der Regel Kontrollen. Kontrollen der korrekten Benutzung eines Systems können entweder direkt und fest z. B. an einer Mautstation erfolgen (i. d. R. ohne zusätzliche Wirkungen neben der Abfertigung) oder stichprobenartig mobil an anderen Stellen durchgeführt werden. Abhängig vom eingesetzten System gibt es unterschiedliche Arten, mobile Kontrollen durchzuführen. Erhöhte Unfallzahlen oder Nachteile für die Verkehrsflussqualität im Zusammenhang mit mobilen Kontrollen sind bisher nicht bekannt.

### **Fazit**

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die verkehrstechnischen Probleme des Mobility Pricing beherrschbar sind, soweit sie ausreichend bei der Planung berücksichtigt werden. Planungen in der Schweiz werden dabei durch i. d. R. beengte Platzverhältnisse vor besondere Herausforderungen gestellt.

Grundsätzlich lassen sich die verkehrstechnischen Probleme von Mautstationen durch einen hohen Anteil von ETC-Nutzern deutlich mindern und durch ausschliessliche ETC-Nutzung nahezu ganz vermeiden.

Der verkehrstechnische Nutzen von Value Pricing wird sehr kritisch bewertet. Nur in Ausnahmefällen sind Reisezeitersparnisse oder Kapazitätsgewinne zu erwarten.

Für die Markierung und Beschilderung von Mautstationen und Value Pricing existieren bislang noch keine einheitlichen Zeichen. Die Signalisationsverordnung müsste entsprechend ergänzt werden.

## **Abstract**

Traffic engineering aspects in the context of Mobility Pricing have been the focus of project C3 (VSS 2005/916) in the research program "Mobility Pricing". Relevant from this point of view are systems which influence the traffic flow instead of using electronic detection and payment processes only. Toll plazas and Value Pricing, hence, have been of central interest. Furthermore, the use of on-board units for electronic toll collection (ETC), parking facilities, and mobile enforcement measures have been analysed from the traffic engineering point of view. A comprehensive literature review and expert interviews focussing on experience gained nationally and internationally have been supplemented by analytical treatments and microscopic traffic flow simulations.

### **Toll Plazas**

The required space for toll plazas depends significantly on the systems used and the respective user share. Depending on the configuration and organisation capacities of 200-500 veh/h for cash payment, 300-600 veh/h for card transaction, and up to 1.800 veh/h for ETC can be realised. Developed diagrams facilitate the estimation of the number of lanes required subject to the systems used.

Particularly in saturated conditions (utilisation > 90 %) incidents at toll booths may result in severe disturbances on the upstream road network. This has to be considered in the planning process, especially if the number of lanes is low and, thus, the spare capacity limited.

Safety concerns arise out of merging traffic and differing speeds on adjacent lanes among others. The case study of the tunnel Vedeggio-Cassarate in the canton of Tessin highlights the problems connected with toll plazas, particularly where space is restricted. Alternatives have been developed to explain possible solutions.

From the impact assessment recommendations for the reduction of safety risks through a suitable design and the useful information of the users are deduced. Road signs have to be considered in an early planning stage, since they can have an impact on the toll plaza design.

### **Value Pricing**

An analysis of Value Pricing considering travel times and capacities reveals that only in rare exceptions advantages can be expected. Regarding travel time and capacity as a random variable a three lane highway section has been compared to a two lane section with additional Value Lane. The results depend greatly on the input data (fundamental diagrams in the first place). From the traffic engineering point of view, Value Pricing should only be considered where more effective measures cannot be realised. Detailed examinations,

looking at origin-destination-relations and scrutinising merging areas, are recommended for specific cases. Road signs and markings have to be regarded adequately.

### **Use of On-Board Units**

To enable the deployment of ETC, on board equipment has to be provided to the vehicles of the users. Only by using RFID (Radio Frequency Identification) and providing sufficient infrastructure and personnel this seems to be possible at the national border. The problems are highlighted by rough calculations for the border crossing at Basel/Weil.

### **Parking Facilities**

Parking is covered in the Swiss and German standards and recommendations. The report summarises the gist.

### **Enforcement**

Mobility Pricing systems usually require enforcement. Users may be controlled at static locations, e.g. at the toll booth, or randomly at changing locations. Mobile controls can be realised in different ways, depending on the system used. Higher accident rates or reduced quality of traffic flow by the use of mobile controls has not been reported in the past.

### **Conclusion**

It can be concluded that traffic engineering problems associated with Mobility Pricing are manageable, if considered accordingly in the planning process. In the case of Switzerland limited space will be one major difficulty.

Problems at toll plazas can be reduced or avoided by a high ETC user share or exclusive use.

The advantage of Value Pricing from a traffic engineering point of view is seen critically. Only in exceptional cases travel time savings or capacity increase can be expected.

For the marking and signposting of toll plazas and Value Pricing no Swiss standards exist so far. The "Signalisationsverordnung" (Signalling Regulation) would have to be amended accordingly.

## Résumée

Ce projet traite les aspects techniques de circulation dans le contexte de Mobility Pricing. Les systèmes significatifs de ce point de vue sont les systèmes d'évaluation qui interviennent directement dans le déroulement du trafic au lieu de n'utiliser que des procédures électroniques de détection et de péage sans influence sur le mode de conduite des utilisateurs de la route. Un intérêt particulier a été porté aux gares de péage et à l'évaluation de la mobilité. L'utilisation d'appareils montés à bord des véhicules (appareils de bord) pour les systèmes de télépéage a été étudiée ainsi que les installations de parcage du point de vue des transports. Une analyse des contrôles mobiles a également été effectuée. Outre une recherche bibliographique détaillée et des enquêtes auprès d'experts concernant les expériences faites sur le territoire national et à l'étranger, des réflexions analytiques et des simulations microscopiques ont été réalisées.

### Les gares de péage

La demande en espace des gares de péage dépend principalement des systèmes employés et de la part respective des utilisateurs de la route. Selon la configuration des gares de péage, des capacités de 200 à 500 véh/h pour les guichets à paiement en liquide, de 300 à 600 véh/h pour les paiements par cartes bancaires et d'environ 1'800 véh/h en fonction de la capacité du tronçon pour le télépéage peuvent être atteintes. Le développement de diagrammes a permis d'évaluer le nombre de voies de circulation en fonction du système employé.

En cas de saturation élevée (> 90 %) du trafic, des perturbations peuvent apparaître au niveau de la gare de péage et se répercuter négativement sur le réseau routier principal situé en amont. Ceci devra plus particulièrement être pris en considération lors de la planification si le nombre de voies de circulation et, partant, la réserve de capacité est restreinte.

En outre, à l'endroit des gares de péage, les problèmes de sécurité dus aux entrecroisements, aux différences de vitesses et autres aspects ont été mis en évidence. Lors de la planification il s'agira de tenir compte du nombre réduit des voies de circulation entraînant une diminution de la réserve de capacité.

Le cas particulier du tunnel de liaison Vedeggio – Cassarate au Tessin illustre les problèmes pouvant survenir dans le cas des gares de péage à emplacement réduit. Des variantes ont été développées afin de donner des solutions possibles.

Sur la base d'une analyse d'impact des recommandations sont faites quant à la réduction des risques de sécurité, ceci au moyen d'aménagements constructifs appropriés et d'une information adéquate aux usagers de la route. Dans le cas d'emplacements réduits, la signalisation doit être prise en compte dès la planification des gares de péage car elle peut avoir une influence importante sur l'aménagement de ceux-ci.

## **Value Pricing**

Value Pricing considérant les économies de temps de parcours et les augmentations de capacité a montré que des avantages ne peuvent être attendus qu'exceptionnellement. En tenant compte de la capacité et de la vitesse en tant que variables aléatoires, un tronçon à trois voies et un autre à deux voies avec une voie de valeur additionnelle (Value Lane) d'une route à grand débit ont été comparés au moyen d'une évaluation de valeur pour la voie de circulation supplémentaire. Les résultats dépendent fortement des données d'entrée (en premier lieu des diagrammes fondamentaux). Du point de vue des transports, l'évaluation des valeurs ne devrait intervenir que si aucune autre mesure plus effective ne peut être réalisée. Des études détaillées tenant compte des relations origine – destination et de l'aménagement des entrecroisements sont nécessaires avant tout emploi de l'évaluation de valeur. Dans ce cas une attention particulière devra être portée à la signalisation et au marquage.

## **Utilisation d'appareils de bord**

Si des systèmes de péage électronique sont employés, les véhicules doivent être munis d'appareils de bord. La vente de ceux-ci aux frontières peut se faire seulement par l'emploi de l'identification des fréquences radio (RFID) et de mettre d'infrastructure et de personnel suffisant à disposition. Une estimation des besoins en espace au point frontière de Bâle/Weil élucide la problématique.

## **Installations de parcage**

Les installations de parcage sont traitées d'une manière exhaustive dans les normes suisses et allemandes. La substance principale de celles-ci est résumée dans le présent rapport.

## **Contrôles**

Les systèmes d'évaluation de la mobilité impliquent en général des contrôles. Le contrôle de l'utilisation correcte d'un système peut être effectué directement à des points fixes comme par exemple aux gares de péage (en général sans influence sur la procédure de péage) ou au moyen de contrôles mobiles échantillonnés à divers endroits. Il existe différents moyens d'effectuer des contrôles mobiles selon les systèmes de péage employés. Il n'a été rapporté ni augmentation du nombre d'accidents, ni inconvénient pour la qualité de l'écoulement du trafic dus aux contrôles mobiles.

## **Conclusion**

En résumé on peut conclure que les problèmes relatifs aux transports liés à Mobility Pricing peuvent être maîtrisés à condition d'en tenir compte lors de la planification. En Suisse, les espaces restreints à disposition posent des difficultés majeures.

Les problèmes relatifs aux transports liés aux gares de péage sont en principe atténués par l'importante part représentée par les utilisateurs du télépéage (ETC) et peuvent être entièrement évités par la seule utilisation de ce dernier. L'utilité de Value Pricing du point de vue des techniques de circulation doit être évaluée de manière très critique. Des économies de temps de parcours et des gains de capacité ne peuvent être attendus que dans des cas particuliers.

En ce qui concerne le marquage et la signalisation des gares de péage et de Value Pricing, il n'existe actuellement pas de signaux correspondant en Suisse. L'ordonnance sur la signalisation routière devrait être complétée en conséquence.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ziel

Strassenbenutzungsgebühren und Parkentgelte sind wesentliche preispolitische Instrumente und erfordern Systeme zur Gebührenerhebung. Diese Systeme, ihre Gestaltung, Funktionen und Orte können durch ihre Betriebsweise und steuernde Funktion massgebenden Einfluss auf das lokale Verkehrsgeschehen und nicht zuletzt auch auf die Sicherheit haben.

In den vergangenen Jahren wurden weltweit zahlreiche Projekte insbesondere zur Erhebung von Strassenbenutzungsgebühren (Road Pricing) mit unterschiedlichen Techniken initiiert. Ziel dieses Forschungsprojekts ist die systematische Auswertung dieser Projekte und die gezielte Untersuchung von Aspekten, die in der Literatur bislang noch unzureichend behandelt wurden.

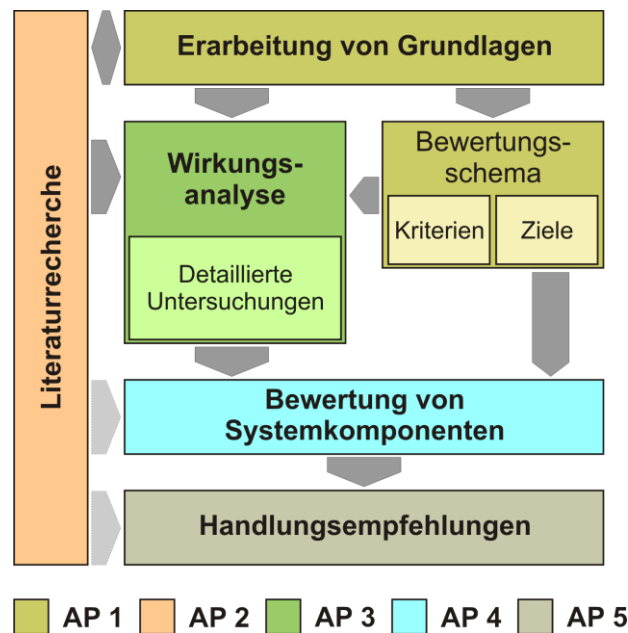
Dieser Bericht dient als Übersicht über die Vor- und Nachteile solcher Systeme. Verkehrsqualität, Sicherheit und Information bzw. Lenkung der Verkehrsteilnehmer werden dabei berücksichtigt. Allfälliger Änderungsbedarf der Signalisationsverordnung und anderer Normen wird angesprochen.

Mit dem Forschungsprojekt soll Entscheidungsträgern eine Beurteilungsgrundlage zu verkehrstechnischen und sicherheitsbezogenen Konsequenzen unterschiedlicher Systeme des Road Pricing an die Hand gegeben werden. Des Weiteren wird zugleich das Grundwissen zu sinnvollen Systemgestaltungen erarbeitet, und es werden Vorschläge zur verkehrstechnischen Gestaltung der Systeme begründet.

## 1.2 Vorgehensweise

Das Projekt wurde in Arbeitspakete aufgeteilt, die eine systematische Herangehensweise ermöglichen. Nach einer Eingrenzung der relevanten Untersuchungsgegenstände und einer Ermittlung der bedeutsamen Kriterien wurden die Wirkungen verschiedener Systeme und ihrer Komponenten ermittelt. Darauf aufbauend konnten die Systeme bewertet und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Begleitend dazu wurde die internationale Literatur recherchiert.

Der Projektablauf ist in Bild 1 schematisch dargestellt.



**Bild 1: Projekttablauf und Arbeitspakete**

### 1.3 Aufbau des Schlussberichts

Dieser Bericht ist nach den untersuchten Systemen und Vorgängen gegliedert:

- ◆ Mautstationen
- ◆ Value Pricing
- ◆ Nutzung von Fahrzeuggeräten
- ◆ Parkierungseinrichtungen
- ◆ Mobile Kontrollen

Innerhalb der Kapitel wird zunächst eine kurze Einführung in die relevanten Prozesse gegeben. Ausführlich werden die Wirkungen der Systeme und Vorgänge beschrieben, bewertet und kurz begründet. Die aus den Wirkungen abgeleiteten Handlungsempfehlungen sind in einem eigenen Abschnitt dargestellt.

Am Ende des Berichts findet sich ein Fazit mit Ausblick, das die wesentlichen Erkenntnisse zusammenfasst. Dem Bericht angefügt ist ein ausführliches Literaturverzeichnis mit den untersuchten Quellen.

Im Anhang werden ausgewählte Aspekte detailliert beleuchtet und getroffene Annahmen begründet. Dort finden sich auch weitere Erläuterungen zur Vorgehensweise und ver-

wendeten Untersuchungsmethodik im Forschungsprojekt. Ausführlichere Auskünfte zur Prozessanalyse können auf Anfrage erteilt werden.

## **1.4 Zusammenfassende Darstellung der Grundlagen**

### **Vorgehensweise**

Die Wirkungsanalyse läuft in mehreren Schritten ab, die sich gegenseitig ergänzen können, aber jeweils nicht für alle Komponenten angewendet werden können oder müssen.

- ◆ Identifikation der bedeutsamen Untersuchungsgegenstände (Anwendungsfälle)
- ◆ Literaturanalyse zu den ausgewählten Komponenten
- ◆ Prozessanalyse zu den bedeutsamen Untersuchungsgegenständen einschliesslich qualitativer Wirkungsabschätzung und Berechnungen, ggf. ergänzt durch mikroskopische Verkehrsflusssimulationen

Die Bewertung erfolgt anhand von Kriterien, die den vier Oberzielbereichen

- ◆ Verkehrsablauf (Reisezeiten, Verkehrsmanagement),
- ◆ Sicherheit (Unfallrisiko, Unfallschwere),
- ◆ Umwelt (Emissionen, Flächenverbrauch) und
- ◆ Informationsbedürfnisse der Nutzer

zugeordnet werden können. Als Schwerpunkte der Untersuchung werden nach Absprache mit der Begleitkommission und in Abstimmung auf die für das Projektpaket identifizierten Szenarien Mautstationen, Value Pricing, Parkieranlagen und mobile Kontrollen behandelt. Relevant ist hierbei in erster Linie das „Objektmodell“.

### **Prozessanalyse**

Jeder Art der Gebührenerhebung liegt ein weitgehend festgelegter Prozessablauf zu Grunde. Der Prozessablauf wird untergliedert in Kernprozesse, die zur eigentlichen Gebührenerhebung erforderlich sind, und in Supportprozesse, welche zur Unterstützung der Gebührenerhebung dienen (z. B. Öffentlichkeitsarbeit). Für die Wirkungsanalyse werden nur die Kernprozesse betrachtet.

### **Simulationen**

Simulationen können eingesetzt werden, wenn in der Literatur keine ausreichenden Erkenntnisse vorliegen und vertiefende Betrachtungen sinnvoll erscheinen. Um die verkehrstechnischen Wirkungen von Road Pricing zu untersuchen, kommen nur mikroskopische Modelle in Frage. Es zeigt sich, dass stochastische Prozesse wie zufällige Verkehrsfluss-

zusammenbrüche bei hohem Verkehrsaufkommen noch nicht in ausreichender Qualität modelliert werden können.

Simulationen liefern nur nach einer gründlichen Modellkalibrierung und Modellvalidierung quantitativ belastbare Ergebnisse. Im vorliegenden Projekt sollten jedoch zunächst nur allgemeine Erkenntnisse gewonnen werden. Die Simulation von Mautstationen erfolgte deshalb nur zur Untermauerung von allgemeinen Aussagen.

### **Randbedingungen**

Für die Bewertung von Komponenten sind Randbedingungen zu beachten. Handlungsempfehlungen zur Systemgestaltung können ebenso nur unter Berücksichtigung von Randbedingungen erarbeitet werden.

Randbedingungen können in räumliche, verkehrliche und bauliche Randbedingungen unterteilt werden. Wichtig sind auch die von den Verkehrsteilnehmern zu treffenden Entscheidungen bei der Nutzung einer kostenpflichtigen Verkehrsfläche (räumliche, zeitliche und modale Alternativen). Solche Entscheidungen sollten auf vollständigen Informationen beruhen, die zur Verfügung stehen müssen.

Die Handlungsempfehlungen zu den verschiedenen Systemen werden allgemein gegeben. Randbedingungen müssen deshalb im Einzelfall beachtet werden, wodurch bestimmte Aussagen eventuell relativiert werden müssen. Besondere zu beachtende Randbedingungen werden angesprochen.

### **Fallbeispiel**

Viele Probleme, die im Zusammenhang mit Road Pricing auftreten, lassen sich sehr anschaulich anhand von Fallbeispielen erläutern. Für Mautstationen wurden deshalb am Beispiel Verbindungstunnel Veduggio – Cassarate verschiedene Varianten entworfen und ihre Vor- und Nachteile erläutert.

## 2 Mautstationen

### 2.1 Einleitung

Mautstationen bestehen in der Regel aus mehreren Fahrstreifen mit jeweils einer Abfertigungseinrichtung (Schalter). Jeder Schalter kann für eine oder mehrere Zahlungsmöglichkeiten vorgesehen sein. Die Gestaltung von Mautstationen hängt stark von den auftretenden Verkehrsstärken, den Fahrzeugarten (insbesondere Schwerverkehr) und den Nutzeranteilen verschiedener Zahlungsarten ab. Im Rahmen des Projekts wurden die Abläufe vor Mautstationen, an Mautstationen und hinter Mautstationen durch eine ausführliche Literaturanalyse, Expertengespräche, Berechnungen und mikroskopische Verkehrsflusssimulationen näher untersucht.

Beschrieben werden in diesem Kapitel nach einer Erläuterung der auftretenden Prozesse die Wirkungen bestimmter Randbedingungen auf die Qualität des Verkehrsablaufs, die Sicherheit und die Umwelt. Ein Fallbeispiel (Verbindungstunnel Vedeggio - Cassarate) illustriert die im Zusammenhang mit Mautstationen auftretenden Probleme insbesondere bei engen Platzverhältnissen, wie sie in der Schweiz häufig anzutreffen sind.

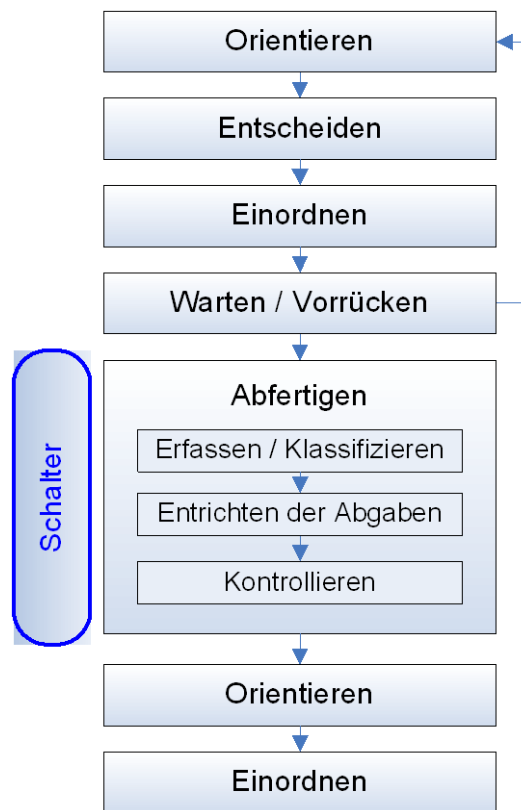
Der Prozessablauf an Mautstationen ist in Bild 2 dargestellt.

Der **Verkehrsablauf vor der Mautstation** lässt sich untergliedern in eine Phase des Orientierens, eine Phase des Entscheidens und eine Phase, in der aufgrund der Entscheidung notwendig gewordene Aktivitäten ausgeführt werden. Zu letzteren gehören das Einordnen in den gewählten Fahrstreifen sowie das mit dem gewählten Fahrstreifen ggf. verbundene Warten und Vorrücken. Beide Prozesse beinhalten das (ggf. wiederholte) Abbremsen und Beschleunigen der Fahrzeuge, und das Einordnen beinhaltet zusätzlich noch Fahrstreifenwechselprozesse. In der Phase des Wartens und Vorrückens ist eine Neuorientierung möglich, welche Rücksprünge in der Prozesskette anstossen kann.

Der **Verkehrsablauf an der Mautstation** ist geprägt durch das Abfertigen. Diese wiederum kann das Erfassen und Klassifizieren der Nutzer, das Entrichten der fälligen Gebühren und das Kontrollieren auf einen korrekten Ablauf enthalten. Diese drei Teilprozesse sind möglich, aber nicht immer notwendig.

Der **Verkehrsablauf hinter der Mautstation** kann wiederum einen Prozess des Orientierens umfassen, falls es unterschiedliche Weiterfahrtmöglichkeiten gibt, sowie den Prozess des Einordnens auf den gewählten Fahrstreifen. Mit dem Einordnen verbunden sind Abbrems- und Beschleunigungsvorgänge sowie Fahrstreifenwechselprozesse.

**Abgasemissionen** treten in allen Bereichen auf und werden in einem eigenen Abschnitt behandelt.

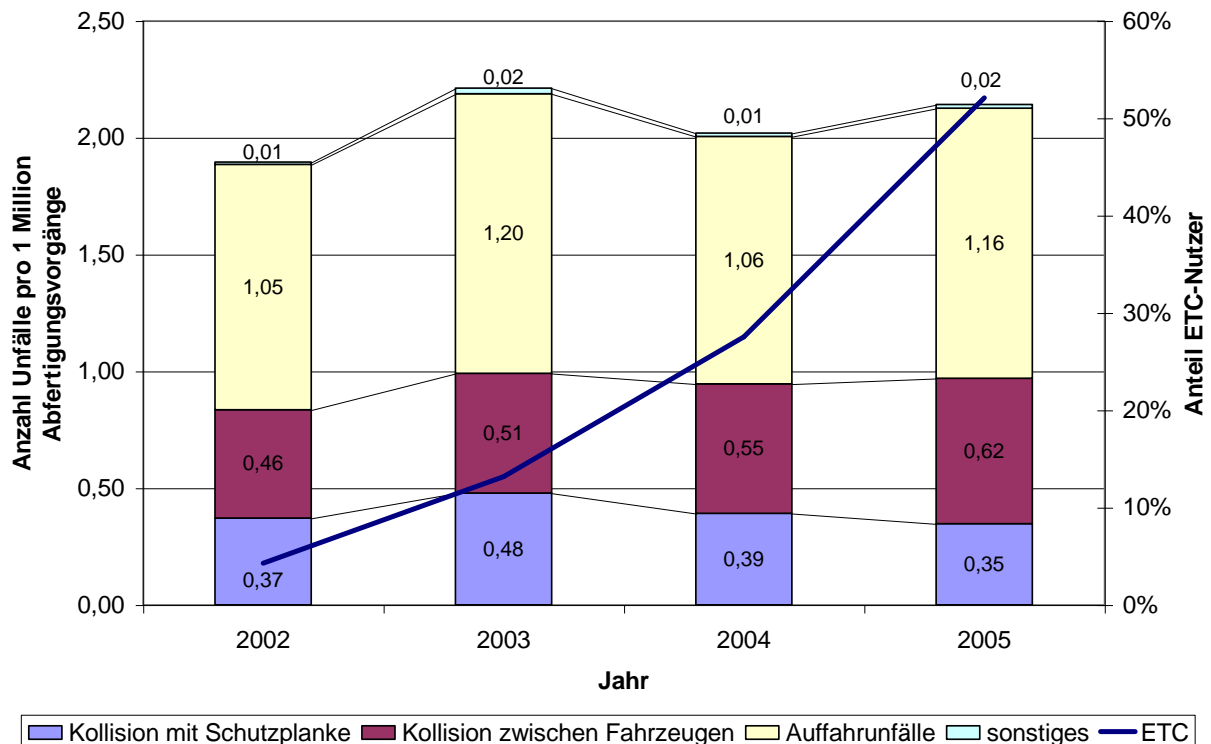


**Bild 2: Prozessablauf Mautstation**

## 2.2 Wirkungsanalyse und Bewertung

### Verkehrsablauf vor der Mautstation

Die Bedeutung einer guten **Information** vor und an Mautstationen ist nicht zu unterschätzen. Je mehr Möglichkeiten zur Begleichung der Maut den Verkehrsteilnehmern zur Verfügung stehen und je geringer die Systemkenntnis der Nutzer ist, desto umfassender müssen sie informiert werden und desto mehr Zeit benötigen sie für die Entscheidung. Die Folge kann unvorhersehbares Fahrverhalten (z. B. plötzliche Bremsmanöver, Fahrstreifenwechsel) sein, das mit entsprechenden Sicherheitsrisiken verbunden ist. Späte Information, Ablenkung durch zu grosse Informationsfülle und unübersichtliche Streckenführung können die Unfallgefahr erhöhen. Auffahrunfälle sind eine der Hauptunfallarten vor Mautstationen (Bild 3).



**Bild 3: Unfälle im Einfahrbereich von Mautstationen und ETC-Anteil in Tokyo**

(Quelle: Tokyo Metropolitan Expressway Company Ltd., 2006)

Die **Gestaltung des Zufahrtbereichs** kann grossen Einfluss auf die Qualität des Verkehrsablaufs und die Sicherheit haben. ETC-Nutzer als üblicherweise schnelle Verkehrsteilnehmer fahren (bei Rechtsverkehr) tendenziell links auf die Mautstation zu, Schwerverkehr rechts. Die Linienführung kann einen starken Einfluss auf das Geschwindigkeitsniveau haben (Geradlinigkeit, Verschwenkungen). Auch die Nähe zu benachbarten Fahrzeugströmen und der Mischungsgrad unterschiedlicher Fahrzeugarten haben einen Einfluss auf die Geschwindigkeit (KLODZINSKY/AL-DEEK 2002).

Der an Mautstationen auftretende Rückstau kann zu Sicherheitsproblemen und Qualitätseinbußen im angrenzenden Strassennetz führen. Der benötigte Stauraum hängt in erster Linie vom Auslastungsgrad der Mautstation, von der Verkehrsstärke sowie vom Schwerverkehrsanteil ab (vgl. Verkehrsablauf an der Mautstation).

### Verkehrsablauf an der Mautstation

Entscheidend für den Ablauf an der Mautstation sind die Dauer der einzelnen Abfertigungen sowie die Verteilung auf die Abfertigungsarten und deren Homogenität.

Die **Kapazität** wird von der Zeit zum Räumen des Schalters und der Zeit zur eigentlichen Abfertigung bestimmt. An reservierten Fahrstreifen für elektronische Zahlung (ETC) muss bei Verwendung entsprechender Systeme zur Abfertigung nicht angehalten werden. Die

Kapazität kann daher der Streckenkapazität (etwa 1800 Fz/h) entsprechen, sofern ein technisch geeignetes System eingesetzt wird und keine Geschwindigkeitsbegrenzung aus Sicherheitsgründen angeordnet werden soll.

Zur Kapazität von Fahrstreifen werden in der Literatur sehr breit streuende Werte angegeben (Tabelle 1). Dies ist nicht nur in den sehr unterschiedlichen eingesetzten Systemen begründet, sondern hängt bei Systemen, die einen Halt erfordern, auch stark von den Nutzern und ggf. dem Bedienpersonal an Schaltern ab. Je vertrauter die Nutzer mit dem System sind und je routinierter und motivierter das Personal ist, desto höhere Kapazitäten lassen sich erzielen (AL-DEEK/MOHAMED/ RADWAN 1997, KLODZINSKI/AL-DEEK 2002).

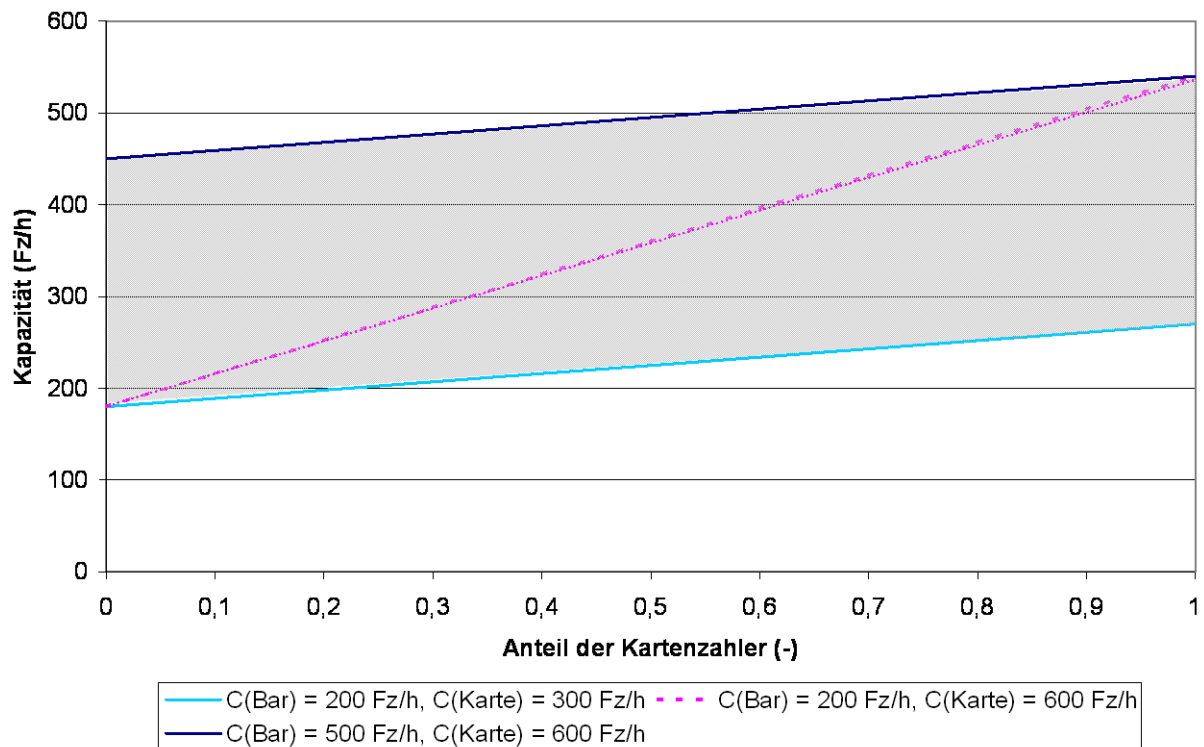
Der Zeitbedarf für das Passieren des Schalters mit Halt (ohne die eigentlichen Abfertigungszeiten) beträgt etwa drei Sekunden (MURAMATSU 2006, LEVINSON/ CHANG 2003). Er reduziert die Kapazität eines Fahrstreifens also bereits auf bis zu 1200 Fz/h.

**Tabelle 1: Kapazität von Mautstationen** (vgl. Anhang A.1)

Zahlungsart	Kapazität (Fz/h)
Barzahlung	200-500
Kartenzahlung	300-600
ETC	bis 2000

An Mischfahrstreifen für verschiedene Zahlungsarten hängt die Kapazität auch vom Anteil der Nutzer verschiedener Zahlungsarten ab. In Bild 4 ist die Kapazität eines Mischfahrstreifens für Bar- und Kartenzahlung in Abhängigkeit des Anteils der Kartenzahler angegeben. Der schraffierte Bereich gibt die Spannbreite in Abhängigkeit der eingesetzten Systeme wieder (angenommene Kapazitäten sind in der Legende benannt).

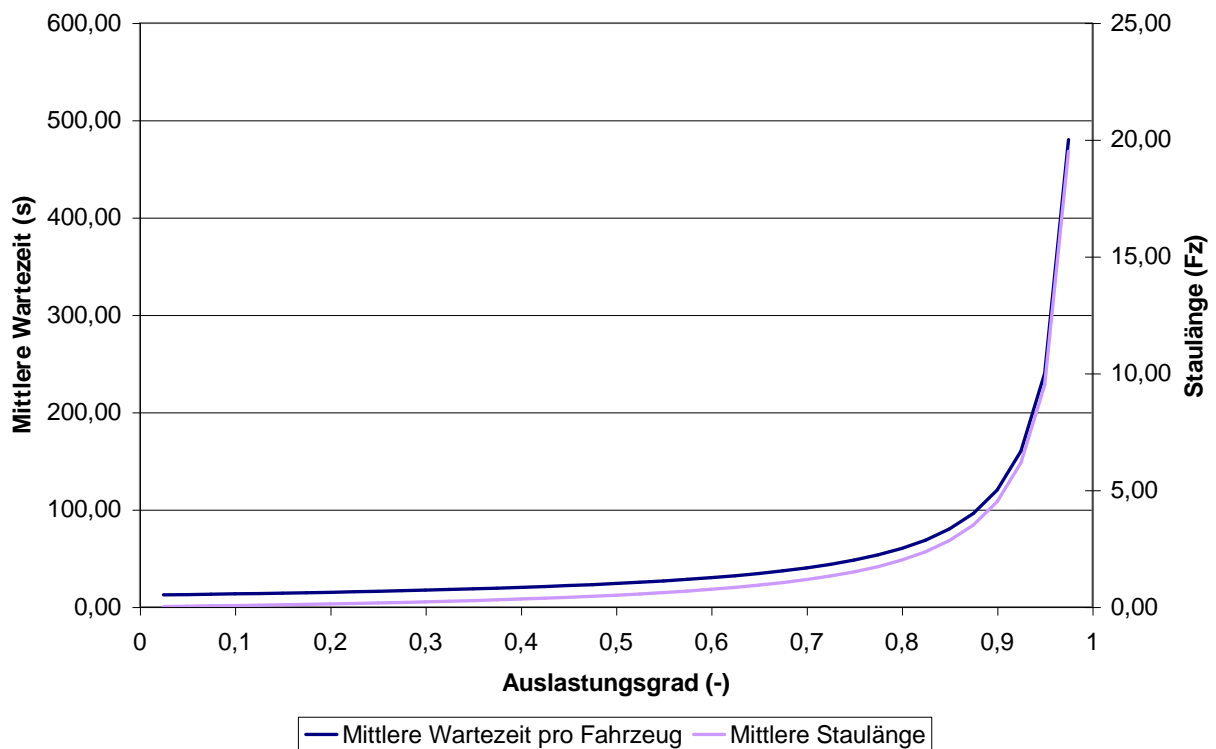
In Abschnitt 5.2 auf S. 41 werden weitere Hinweise zu Einflussfaktoren der Kapazität von Abfertigungseinrichtungen gegeben.



**Bild 4: Kapazität von Mischfahrstreifen für Bar- und Kartenzahlung**

Untersuchungen an Mautstationen zeigen, dass Abfertigungszeiten in guter Näherung exponentialverteilt sind (MURAMATSU 2006). Wenn zusätzlich auch von poissonverteilten Fahrzeugankünften ausgegangen werden kann (z. B. auf Strassen des Hochleistungsnetzes) lassen sich **Wartezeiten und Staulängen** mit Warteschlangenmodellen abschätzen (Wartemodell M/M/n, vgl. Anhang A.2). In Bild 5 sind beispielhaft die mittleren Wartezeiten und Staulängen für zwei Mischfahrstreifen für Bar- und Kartenzahlung (Kapazität  $C = 300$  Fz/h) angegeben. Bei einer angenommenen mittleren Fahrzeuglänge von  $l = 6$  m ergibt sich in diesem Fall bei einem Auslastungsgrad von  $g = 0,9$  eine mittlere Staulänge von 27 m.

Die maximale Staulänge hängt stark vom Auslastungsgrad ab und ist grossen stochastischen Schwankungen unterworfen. Bei mittleren Auslastungsgraden pendelt sich die Staulänge auf einem bestimmten Niveau ein, während sie bei hohen Auslastungsgraden anwächst.



**Bild 5: Mittlere Wartezeit und Staulänge an zwei Fahrstreifen mit  $C = 300$  Fz/h**

Ein hoher Auslastungsgrad an Mautstationen sorgt dafür, dass schon kleine Nachfrageschwankungen oder **Störungen** bei der Abfertigung stark anwachsenden Rückstau hervorrufen. Je geringer die Anzahl der Schalter ist und je höher der Auslastungsgrad der jeweiligen Fahrstreifen ist, desto massiver wirken sich solche Störungen an einzelnen Mautstationen aus. Störungen können durch Ausfall von Schaltern, Unfälle, Fehlbedienungen an automatischen Schaltern, falsche Einordnung von Nutzern und Ähnliches entstehen.

Ab einem **Auslastungsgrad** von etwa 90 % wird der Verkehrsablauf instabil. Dieser Wert lässt sich durch Warteschlangenmodelle begründen und wird durch Simulationen bei unterschiedlichen Kapazitäten bestätigt (vgl. Anhang A.2, Bild 2).

Die **Anzahl der erforderlichen Fahrstreifen** hängt von der Spitzenbelastung im Betrachtungszeitraum und von den dabei auftretenden Anteilen der Nutzer verschiedener Zahlungsarten ab. Grundsätzlich erscheint es nicht nur aus betrieblicher Sicht wünschenswert, Nutzern von ETC (mindestens) einen eigenen Fahrstreifen zu reservieren. Diese Nutzer können die Mautstation ohne Halt passieren und vermeiden dadurch unnötige Haltevorgänge. Bei geringen Verkehrsstärken und zur Erhöhung der Flexibilität können jedoch auch Mischfahrstreifen für alle Zahlungsarten sinnvoll sein.

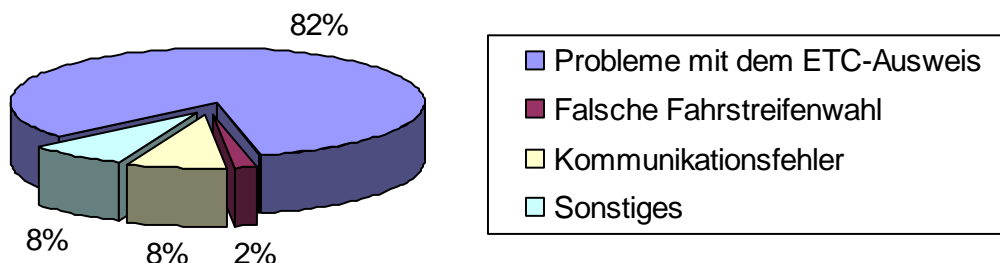


Aus Bild 6 lassen sich mögliche **Fahrstreifenaufteilungen** ablesen. Wenn Zahlungsarten, die einen Halt erfordern, zusammengefasst werden, erhöht sich die Flexibilität. Schwankungen der Nutzeranteile können aufgefangen werden, und die Anzahl der Fahrstreifenwechsel reduziert sich (vgl. Verkehrsablauf vor der Mautstation). Die Fahrstreifenaufteilung hat auch einen Einfluss auf die Unfallrate (vgl. Verkehrsablauf hinter der Mautstation). Für die Anordnung der Fahrstreifen werden in der Literatur unterschiedliche Empfehlungen gegeben. Letztlich stellt die Fahrstreifenaufteilung eine sehr individuelle Entscheidung dar, die auf den vorhandenen Bedarf abzustimmen ist (vgl. Hinweise in MOHAMED/ATY/KLODZINSKI 2000, PIETRZYK/MIEREZEJEWSKI 1993, LEVINSON/CHANG 2003).

Die **Unfallrate** kann durch Einführung von ETC an Mautstationen mit bisher anderen Zahlungsarten deutlich zunehmen, insbesondere bei Führung der ETC-Nutzer auf einem eigenen Fahrstreifen (MOHAMED/ATY/KLODZINSKI 2000 geben eine Steigerung der Unfallzahlen von bis zu 53 % an; vgl. auch Daten aus Japan: Bild 3, S. 7 und Bild 8, S. 13).

Bei **elektronischen Abfertigungseinrichtungen (ETC)** müssen Nutzer rechtzeitig darüber informiert werden, ob das System funktionsbereit ist oder ob sie ggf. auf andere Abfertigungsarten ausweichen zu müssen. Um die notwendigen Handlungen (z. B. Fahrstreifenwechsel) realisierbar zu machen, muss die Erfassung und Weitergabe dieser Information in ausreichendem Abstand zur Mautstation gegeben werden.

Erfahrungen im Raum Tokyo, wo im Jahr 2005 auf jedem ETC-Fahrstreifen im Mittel 116 Kollisionen mit der Schrankenanlage vorkamen, unterstreichen die Bedeutung der Information (Bild 7).

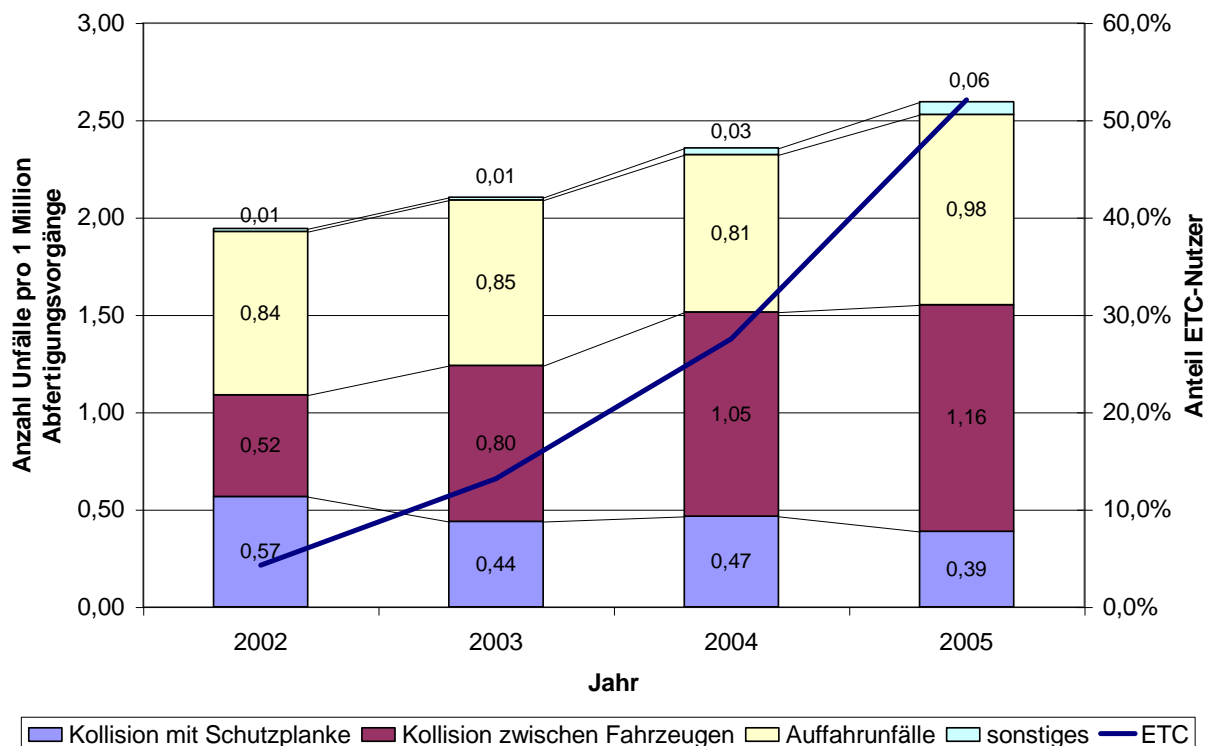


**Bild 7: Ursachen für Schrankenkollisionen an ETC-Fahrstreifen**

(Tokyo 2005, Quelle: Tokyo Metropolitan Expressway Company Ltd., 2006)

### Verkehrsablauf hinter der Mautstation

Hinter der Mautstation müssen die Fahrstreifen wieder zusammengeführt werden. Bei hohen **Geschwindigkeitsdifferenzen** beispielsweise durch Fahrstreifen für ausschliessliche ETC-Nutzung kann sich die Unfallgefahr erhöhen. Unfalldaten aus Japan lassen in solchen Fällen einen Zusammenhang zwischen dem ETC-Anteil und der Unfallrate vermuten (Bild 8).



**Bild 8: Unfälle im Ausfahrbereich von Mautstationen und ETC-Anteil in Tokyo**

(Quelle: Tokyo Metropolitan Expressway Company Ltd., 2006)

Wenn der Verflechtungsbereich unübersichtlich oder zu eng gestaltet ist, kann es zu Verzögerungen und damit Störungen kommen. Grundsätzlich stellen die Verflechtungsbereiche in der Zufahrt und Ausfahrt von Mautstationen den Schwerpunkt von Unfällen dar. Eine vergleichbare Problematik tritt an Baustellen auf, die bereits umfangreich untersucht wurden (vgl. z. B. SPACEK ET AL. 2005).

### Hinweise zu Abgasemissionen

Zur vollständigen Beurteilung von Abgasemissionen wie NO<sub>x</sub> oder CO<sub>2</sub> sind umfangreiche Daten erforderlich. Nach dem Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (INFRAS 2004) sind für die Berechnungen von Verkehrsemissionen drei verkehrliche Elemente zu berücksichtigen:

- ◆ Verkehrsmengen
- ◆ Verkehrszusammensetzung
- ◆ Fahrverhalten

Vor allem die Verkehrszusammensetzung nach Emissionsstufen, Antriebsart und Grössenklassen ist die Grundlage für eine detaillierte Betrachtung von Emissionen.

Um im Rahmen dieser Untersuchung die Umweltwirkungen qualitativ vergleichend bewerten zu können, wurde für den Fahrzeugtyp Pkw ein Beispiel-Datensatz für einen PKW (Benzinmotor) herangezogen und eine Mautstation mit zwei Fahrstreifen und zwei Zahlungsarten (z. B. Bar- und Kartenzahler) mikroskopisch simuliert (vgl. Anhang A.3). Die Simulationen zeigen deutlich die überproportionalen Steigerungen der Emissionen ( $\text{NO}_x$ , CO, HC) bei hoher Auslastung.

Neben der Verkehrsnachfrage beeinflusst auch der Prozessablauf die Emissionshöhe. Die Prozesszeit wirkt sich auf die Rückstaulänge und auf die Anzahl der Halte im Zulauf der Mautstation aus. In einem Vergleich von ETC-Fahrstreifen zu gemischt genutzten Fahrstreifen mit Bar- und Kartenzahlung kommt es vor allem vor den Schaltern zu höheren Emissionen. Insgesamt führt der ETC-Fahrstreifen zu geringen Emissionsanteilen. In der Literatur werden z. B. Reduktionen von  $\text{NO}_x$  um bis zu 16 % im Bereich der Mautstation angegeben, während der Lärm jedoch durch die höheren Geschwindigkeiten zunimmt (YOSHIDA ET AL. 2000, SAKA ET AL. 2001, SAKA/AKBOH 2002).

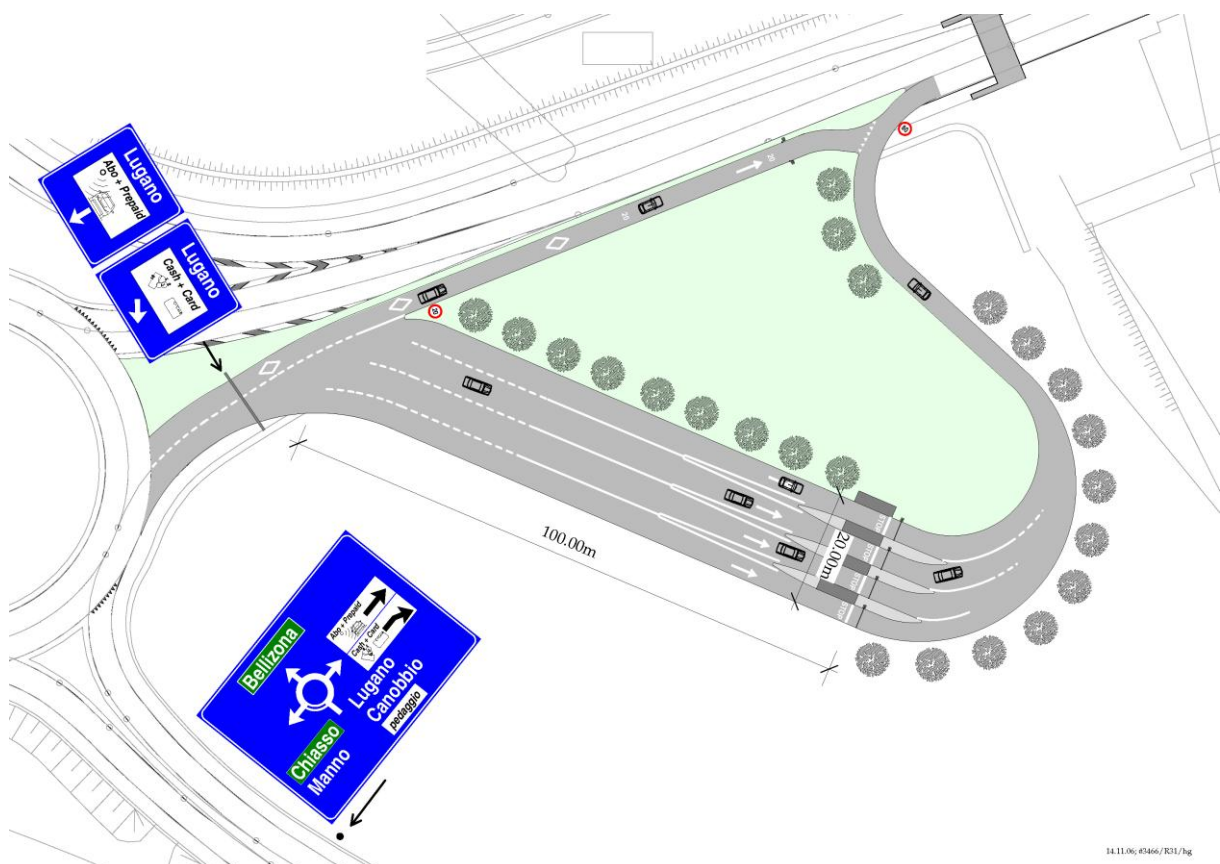
Der Anteil der Nutzer unterschiedlicher Zahlungsmittel wirkt sich auf die mittlere Kapazität eines Fahrstreifens aus und hat dadurch ebenfalls einen Einfluss auf die Emissionen. Je geringer die Kapazität, desto länger die Rückstaus und um so mehr Anfahrvorgänge sind erforderlich. Die Zahl der Anfahrvorgänge ist besonders bei modernen Fahrzeugen ein Haupteinflussfaktor auf die Emissionen.

Detaillierte Untersuchungen sind auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten nicht möglich. Grundsätzlich sind hierbei auch die An- und Abfahrtssituation zu beachten, vor allem bei Auftreten von Steigungen und Kurven, da diese die Fahrdynamik und damit auch die Emissionen beeinflussen.

### **2.3 Fallbeispiel Verbindungstunnel Vedeggio - Cassarate**

Am Beispiel des Verbindungstunnels Vedeggio - Cassarate im Kanton Tessin werden mögliche Anordnungen für eine objektbezogene Mautstelle geprüft. Die beschränkten Platzverhältnisse sind typisch für die schweizerischen Gegebenheiten. Aus der Untersuchung können Anforderungen und Empfehlungen abgeleitet werden, welche sich auch auf neue Signale und Markierungen beziehen.

In Bild 9 ist die schräge Anordnung der Mautstation verkleinert dargestellt. Für die übrigen untersuchten Varianten finden sich Pläne im Anhang.



**Bild 9: Mautstationsentwurf Verbindungstunnel Veduggio-Cassarate (Schräganordnung)**

### Angaben zur Leistungsfähigkeit der Mautstelle

Für die Dimensionierung der Mautstelle wird von einer Spitzenbelastung von 1.600 bis 1.800 Fz/h im Querschnitt, respektive rund 1.000 Fz/h in der massgebenden Richtung ausgegangen. Durch die Nähe zu Italien ist mit einem hohen Anteil an ausländischem Pendlerverkehr zu rechnen, in den Sommermonaten ist zudem ein beträchtlicher Anteil Tourismus- und Freizeitverkehr.

Auf Grund dieser Verkehrszusammensetzung wurde die Anlage versuchsweise so dimensioniert, dass die Abfertigung auch ausschliesslich über manuelle Zahlstationen mit Bar- oder Kartenzahlung erfolgen könnte. Nach Tabelle 3 (S. 37) ergeben sich für reine Barzahlung (angenommene Abfertigungszeit von 250 Fz/h) vier Schalter. Bei Kombination von Bar- und Kartenzahlung kann die Fahrstreifenanzahl eventuell auch auf drei Fahrstreifen reduziert werden (vgl. Varianten im Anhang). Für die elektronische Abfertigung (ETC) wird ein gesonderter Fahrstreifen ausgewiesen.

## **Varianten Anordnung der Mautstelle**

Bei allen Varianten ist die Mautstelle unmittelbar an der zweistreifigen Kreiselausfahrt angeordnet. Der kurze Vorsortierbereich erfordert eine klare Zuordnung der Fahrstreifen für die manuelle und elektronische Bezahlung bereits auf Höhe der Kreisfahrbahn. Erforderlich ist deshalb eine Vorwegweisung auf allen Kreiselfahrten, auf welcher die Zahlungsart je Fahrstreifen ersichtlich ist.

Sämtliche Varianten berücksichtigen zudem, dass der Schwerverkehr auf dem äusseren Fahrstreifen der Kreisfahrbahn zufährt.

### **Variante Längsanordnung**

Die Längsanordnung der Mautstelle entspricht der üblichen, da platzsparenden Anordnung. Der sehr kurze Vorsortierbereich erfordert eine Vorinformation in Form einer Vorwegweisung. Der Stauraum ist sehr knapp bemessen. Störungen können sich auf den angrenzenden Kreisel auswirken.

Hierzu sind allgemein verständliche Piktogramme erforderlich, welche die Bezahlungsart je Fahrstreifen auch für Ausländer leicht verständlich anzeigen. Eine Markierung, welche den Fahrstreifen mit der elektronischen Abbuchung bezeichnet, unterstützt die Zuordnung.

Die elektronische Abbuchung wird auf dem innersten Fahrstreifen angeordnet. Der Schwerverkehr soll möglichst wenige Fahrstreifenwechsel vornehmen müssen. Die äussere Ausfahrt aus dem Kreisel geht deshalb in die Vorsortierung für den Schwerverkehr über. Allerdings besteht hierdurch die Gefahr der Überstauung der Bar-/Kartenzahlungsfahrstreifen durch den Schwerverkehr.

Aus Sicherheitsgründen sind im Verflechtungsbereich die inneren Fahrstreifen vortrittsbelastet ausgestaltet. Um höhere Geschwindigkeiten und einen „Durchzugeffekt“ auf dem Fahrstreifen mit elektronischer Abbuchung zu vermeiden, wird eine Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h signalisiert. Bauliche Massnahmen (Ablenkung, vertikaler Versatz) können die Durchsetzung unterstützen.

### **Variante schräge Anordnung**

Mit der schrägen Anordnung kann – entsprechende Platzverhältnisse vorausgesetzt – der Vorsortierbereich verlängert werden. Der Fahrstreifen für die elektronische Abbuchung kann abgesetzt angeordnet oder in die schräge Anordnung integriert werden. Die Anforderungen an Vorwegweisung, Signalisation und Markierung entsprechen denjenigen aus der Längsanordnung.

Auf dem Fahrstreifen mit der elektronischen Abbuchung sind bauliche Massnahmen zur Geschwindigkeitsreduktion vorzusehen.

### **Variante Zusatzschlaufe**

Mit einer Zusatzschlaufe wird der Vorsortierbereich deutlich verlängert, sodass die Zuordnung der Zahlungsarten auf die Fahrstreifen auch erst nach der Kreiselausfahrt vorgenommen werden kann. Dementsprechend geringer sind auch die Anforderungen an Vorwegweisung und -information. Die Verflechtung der Fahrstreifen nach der Mautstelle kann über einen normalen Fahrstreifenabbau erfolgen.

### **Fazit**

Die nahe liegende Lösung einer Längsanordnung der Mautstelle beinhaltet – zumindest im vorliegenden Fall – auch die höchsten Anforderungen an die verkehrstechnische und betriebliche Ausgestaltung. Damit die Zuweisung auf die Fahrstreifen bereits in einer Vorwegweisung (z. B. Signal 4.54 Vorwegweiser bei Kreisverkehrsplatz, SSV Art. 52) erfolgen kann, sind neue Piktogramme erforderlich, welche auf eine elektronische oder Bar-/Kartenbezahlung hinweisen.

Ergänzend zur Wegweisung ist der Fahrstreifen mit der elektronischen Abbuchung auch mit Markierung zu kennzeichnen. Mit einer klar definierten einheitlichen Markierung auf der Fahrbahn soll eine Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie des Verkehrsflusses erreicht werden.

Erhöhte Anforderungen an die Vorsortierbereiche ergeben sich insbesondere bei Systemen mit einem grösseren Anteil an Bar- und Kartenzahlung. Auf Grund der beschränkten Platzverhältnisse sind für schweizerische Anwendungen in jedem Fall Systeme vorzuziehen, welche die Fahrzeuge elektronisch erfassen und bei denen die Gebühr bereits vor Fahrtantritt (prepaid) oder nach Fahrtende (z. B. via Internet) beglichen werden kann.

## **2.4 Handlungsempfehlungen**

Die Wirkungen von Mautstationen hängen stark von Fahrstreifenanzahl, Nutzeranteilen verschiedener Zahlungsarten, Schwerverkehrsanteil und Auslastungsgrad ab. Generell wirken sich **elektronische Systeme (ETC)**, die keinen Halt erfordern, deutlich weniger bis gar nicht auf den Verkehrsfluss aus und sind deshalb zu bevorzugen.

Fahrstreifen für ausschliesslich elektronische Abfertigung sind aus Sicherheitsgründen klar von den übrigen Fahrstreifen abzugrenzen. Die Verflechtungsbereiche sind besonders unfallgefährdet und sollten deshalb grosszügig und übersichtlich ausgelegt werden. Bei beengten Platzverhältnissen können baulich unterstützte Geschwindigkeitsbegrenzungen die Unfallgefahr senken.

ETC-Fahrstreifen sollten wegen der höheren Geschwindigkeiten möglichst breiter ausgeführt werden als Fahrstreifen für Bar-/Kartenzahlung. Eine schrittweise Fahrstreifenaddition bzw. -subtraktion und die Verlängerung des Verflechtungsbereichs erhöhen die Sicherheit. (MCDONALD JR./STAMMER JR. 2001).

Für die **Festlegung der Anzahl der erforderlichen Abfertigungsschalter** an Mautstationen muss zunächst entschieden werden, welches System zum Einsatz kommen soll. Die Kapazitäten der einzelnen Zahlungsarten, die jeweiligen Nutzeranteile und die zu erwartenden Verkehrsstärken sind abzuschätzen, und der angestrebte Auslastungsgrad festzulegen. In Abschnitt 2.2 sowie im Anhang A.1 sind Richtwerte genannt.

**Fahrstreifen für den Schwerverkehr** sind mit Hilfe von Schlepplinien zu entwerfen. Der Schwerverkehr sollte möglichst geradlinig geführt werden, im Normalfall auf dem rechten Fahrstreifen.

Um Störungen im angrenzenden Strassennetz stromaufwärts zu vermeiden, ist der **Stauraum** ausreichend zu bemessen. Besonders bei Mautstationen mit einer geringen Fahrstreifenanzahl, geringen Kapazitäten und hohen Auslastungsgraden können Störungen (z. B. Unfall, Fahrstreifensperrung, Abfertigungsverzögerungen) nicht oder nur schlecht kompensiert werden. Der Rückstau kann dann schnell wachsen. In solchen Fällen ist sicherzustellen, dass es zu keiner Gefährdung im angrenzenden Strassennetz kommt. Auch ist besonders bei Fahrstreifen mit Schwerverkehr darauf zu achten, dass angrenzende Fahrstreifenzufahrten nicht überstaut werden können.

Der **Einsatz von erprobter Technik** kann helfen, Störungen zu vermeiden.

Hinweise zur **Gestaltung von Mautstationen** finden sich in FHWA 2006<sup>2</sup>, McDONALD JR./STAMMER JR. 2001 und SCHAUFLEER 1997 (allerdings mit Fokus USA).

Für die **Beschilderung**, auch für Vorwegweiser, muss in ausreichendem Abstand geeigneter Aufstellraum vorhanden sein. Bei beengten Platzverhältnissen müssen die Sicherheitsrisiken durch späte oder unzureichende Information bedacht werden. Prepaid-Systeme und eine feste Gebührenhöhe können die Menge der Informationen vor Ort reduzieren. Die erforderlichen Informationen sollten bereits in einem frühen Planungsstadium in Abhängigkeit vom gewählten System ermittelt und die Beschilderung geplant werden. Je nach Fahrstreifenaufteilung kann die Zuweisung hierarchisch erfolgen (z. B. zunächst elektronische Zahlung, sonstige Zahlung; anschliessend noch unterteilt nach Schwerverkehr, Bar-/Karte, Prepaid etc.).

Eine hohe **Vertrautheit der Nutzer mit dem System** verbessert den Verkehrsablauf und erhöht die Sicherheit. Informationen können diese Vertrautheit verbessern.

Für eine einheitliche Information empfiehlt sich die Aufnahme von **international verständlichen Piktogrammen** für Wegweiser und Vorwegweiser in die Signalisationsverordnung (Ergänzende Angaben zu Signalen, SSV Art. 63-65). Fahrstreifen für ausschliesslich elektro-

---

<sup>2</sup> „State of the Practice and Recommendations on Traffic Control Strategies at Toll Plazas“ (FHWA 2006) verfügbar unter <http://mutcd.fhwa.dot.gov/rpt/tcstoll/index.htm>, Stand Januar 2007) soll zukünftig in das „Manual on Uniform Traffic Control Devices“ (MUTCD) der Federal Highway Administration (FHWA) integriert werden.

nische Zahlung sollten auch auf der Fahrbahn als solche markiert werden. In der Norm SN 640 850a „Markierungen“ sind die Ausgestaltung der Markierung „elektronische Abbuchung“ sowie die Angaben für die Anwendungsbereiche festzuhalten.

## 3 Value Pricing

### 3.1 Einleitung

Wenn ein zügig befahrbarer gebührenpflichtiger Verkehrsweg als Alternative zu einem überlasteten Verkehrsweg angeboten wird, entsteht dem Verkehrsteilnehmer durch seine Benutzung ein Vorteil. Der Verkehrsteilnehmer kann für den Mehrwert eines besseren Verkehrsflusses bezahlen. Diese Variante des Road Pricing wird als Value Pricing bezeichnet. Der oder die gebührenpflichtige(n) Fahrstreifen werden hier Value-Fahrstreifen genannt.

Für den Verkehrsablauf beim Value Pricing lassen sich räumlich drei Bereiche unterscheiden: Vor Beginn des Value-Fahrstreifens, im Bereich des Value-Fahrstreifens und hinter dem Ende des Value-Fahrstreifens.

#### **Verkehrsablauf vor Beginn des Value-Fahrstreifens**

Ähnlich wie bei der Mautstation gibt es auch bei Value-Fahrstreifen im Vorlauf eine Phase des Orientierens und des Entscheidens, die eventuell das Einordnen in einen bestimmten Fahrstreifen bedingt. Wartevorgänge treten in der Regel nicht auf, Orientieren und Entscheiden finden bei einem Fahrzeug im Normalfall nur einmal statt.

Der Verkehrsablauf vor Beginn des Value-Fahrstreifens hängt vom vorhandenen Verkehrsaufkommen, der Lage und Anzahl der Value-Fahrstreifen für die jeweilige Richtung und von der Länge des Bereiches ab, der zum Fahrstreifenwechsel genutzt werden kann.

Falls die zulässige Höchstgeschwindigkeit im Bereich des Value-Fahrstreifens herabgesetzt ist, wird eine Anpassung der Geschwindigkeit i. d. R. bereits vor Beginn des Value-Fahrstreifens erforderlich.

#### **Verkehrsablauf im Bereich des Value-Fahrstreifens**

Der Verkehrsablauf im Bereich des Value-Fahrstreifens gestaltet sich aus Sicht der Nutzer und aus Sicht der Nicht-Nutzer auf der parallelen kostenfreien Fahrbahn unterschiedlich. Die Nutzer des Value-Fahrstreifens müssen zu Beginn erfasst werden. Hierfür ist der Prozess des Identifizierens und/oder Klassifizierens sowie ggf. ein Kontrollprozess notwendig. Im Verlauf des Value-Fahrstreifens kann das Anpassen der Geschwindigkeit erforderlich sein, wenn die zulässige Höchstgeschwindigkeit herabgesetzt ist.

Der Prozess des Erfassens und des Kontrollierens sollte bei Value-Fahrstreifen, abgesehen von evtl. Geschwindigkeitseinschränkungen, keinen Einfluss auf den Verkehrsfluss haben. Die wichtigsten Parameter sind hier also die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Verlauf des Value-Fahrstreifens. Ereignisse wie Verkehrsunfälle, Baustellen und Unterhaltsarbeiten erfordern eine gesonderte Betrachtung.

### Verkehrsablauf am Ende des Value-Fahrstreifens

Am Ende des Value-Fahrstreifens beginnt eine Phase des Orientierens, der ggf. ein Einordnen auf den gewünschten Fahrstreifen folgt. Während der erste Prozess auch noch im Verlauf des Value-Fahrstreifens möglich ist, erfolgt das Einordnen erst hinter dem Ende des Value-Fahrstreifens.

Der Verkehrsablauf am und hinter dem Ende des Value-Fahrstreifens wird in erster Linie durch die unterschiedlichen Fahrmöglichkeiten und die damit verbundene Notwendigkeit von Fahrstreifenwechseln beeinflusst.

Der Prozessablauf ist in Bild 10 dargestellt.

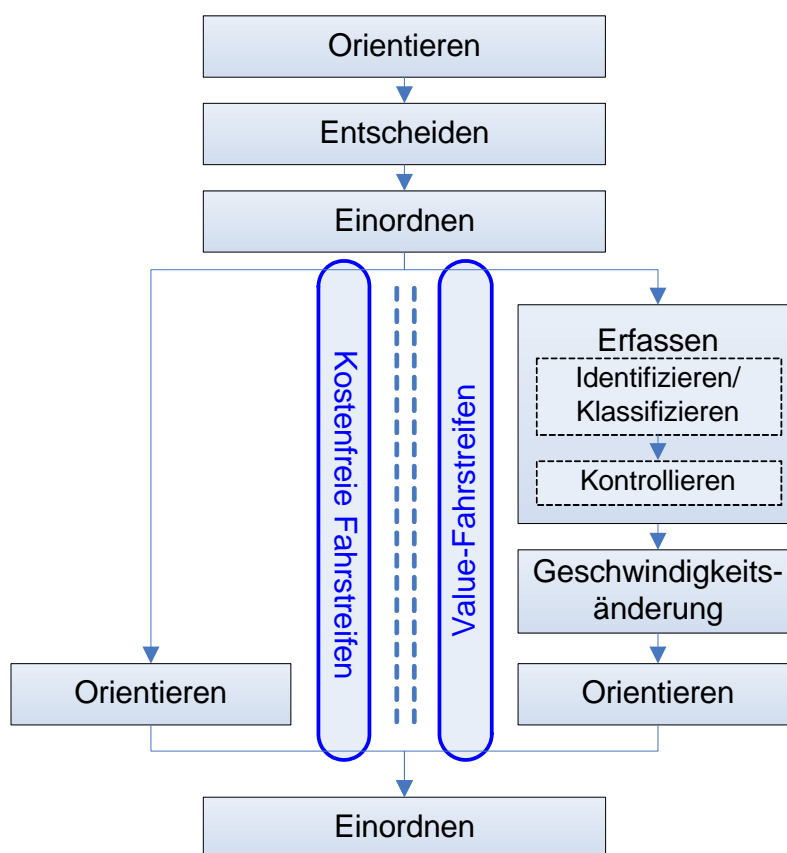


Bild 10: Prozessablauf Value-Fahrstreifen

## 3.2 Wirkungsanalyse und Bewertung

### Verkehrsablauf vor und hinter dem Value-Fahrstreifen

Der **Verkehrsfluss** kann bei Einführung eines Value-Fahrstreifens durch die vermehrt erforderlichen Fahrstreifenwechselprozesse negativ beeinflusst werden.

Die Anzahl der Fahrstreifenwechsel kann sich vor allem in den Verflechtungsbereichen im Vor- und Nachlauf des Value-Fahrstreifens erhöhen.

Verminderte Aufmerksamkeit bei Fahrstreifenwechselprozessen und unterschiedliche Geschwindigkeiten können Folgen einer **Ablenkung durch Information** sein, die von der Platzierung und dem Umfang der Informationen abhängt.

Insbesondere in den Verflechtungsbereichen ist eine **Ablenkung durch sonstige Faktoren** wie Fahrbahn- und Leiteinrichtungen, Abfertigungs- und Überwachungseinrichtungen zu beachten, die sich ähnlich wie die Ablenkung durch Information auf den Verkehrsfluss auswirkt.

Die gegebenen Informationen sollen auffällig, lesbar, verständlich und glaubwürdig sein. Eine Verwirrung der Fahrer durch eine schlechte **Begreifbarkeit** kann zu Störungen im Verkehrsfluss führen.

Die Verfügbarkeit von **Informationen** spielt eine wichtige Rolle. Werden Informationen nicht so rechtzeitig gegeben, dass es den Fahrern möglich ist, eine fundierte Entscheidung zu treffen und diese zu realisieren, kann der Verkehrsfluss negativ beeinflusst werden.

Die Informationen bei Value-Fahrstreifen sollten Angaben zu Auffahr- und Abfahrmöglichkeiten auf den Value-Fahrstreifen, zur Entfernung zwischen diesen, evtl. zu weiteren Voraussetzungen wie Besetzungsgrad, zu den Betriebszeiten, zu den Kosten und zu den Überwachungsverfahren umfassen. Des Weiteren können noch Internetadresse oder Telefonnummer für weitere Informationen angegeben werden. Um besonders bei variablen Preisen den Informationsanforderungen gerecht zu werden, werden programmierbare Hinweistafeln empfohlen. Von der Angabe von Reisezeiteinsparungen wird abgeraten, da diese sehr unterschiedlich für verschiedene Nutzer sein können. (PEREZ 2003)

### **Verkehrsablauf im Bereich des Value-Fahrstreifens**

Die Wirkungsanalyse wird anhand einer Literaturrecherche sowie anhand von exemplarischen Reisezeit- und Kapazitätsvergleichen, in denen beispielhaft Messwerte von Autobahnabschnitten in der Schweiz verwendet werden, durchgeführt.

Untersuchungen aus den USA zeigen, dass die **Akzeptanz** von Value Pricing stark von der Anzahl Stautunden pro Jahr abhängt. Die Akzeptanz von HOV-Lanes (Fahrstreifen für mehrfach besetzte Fahrzeuge) blieb in den meisten Fällen deutlich hinter den Erwartungen zurück.

Auf dem Value-Fahrstreifen ist eine hohe **Qualitätsstufe** des Verkehrsablaufs wichtig, da hierfür Gebühren erhoben werden. Durch die Preisgestaltung ist sicherzustellen, dass es zu keinem Verkehrszusammenbruch kommt. Da die reale Kapazitätsgrenze zufällig schwankt und der Zufluss zum Value-Fahrstreifen nur indirekt über die Gebührenhöhe beeinflusst werden kann, ist eine Sicherheitsmarge vorzusehen. Für die vorliegenden Untersuchungen

wurde von einer maximalen Verkehrsstärke auf dem Value-Fahrstreifen von 1.400 Fz/h ausgegangen (vgl. SVI 2006). Mit welcher Preisgestaltung diese maximale Verkehrsstärke sichergestellt werden kann (Preiselastizität), ist nicht Bestandteil dieses Projekts.

Die **Länge des Value-Fahrstreifens** kann begrenzt werden durch wichtige Ausfahrten oder Kreuzungen. Ein Nutzen wird insbesondere dann erreicht, wenn die Anzahl der Stautunden auf dieser Strecke gross ist. Als Messwerte für den Nutzen eignen sich der Personendurchsatz, die Reisezeitzuverlässigkeit, die Reisezeitersparnis und die akzeptierbare Anzahl an Missbräuchen und Unfällen.

Der Value-Fahrstreifen sollte kurz hinter einer Engstelle enden und so lang sein, dass keine Überstauung des Einfahrbereichs zu erwarten ist. BERNARD, AXHAUSEN (2006) ermittelten für hohe Auslastungsgrade mittlere Staudauern auf Schweizer Autobahnen von 35 bis 45 Minuten. Da aber die Stauausbreitungsgeschwindigkeit (Stosswellengeschwindigkeit) sehr situationsabhängig und entsprechend nicht allgemeingültig vorherzusagen ist, lassen sich zur Mindestlänge des Value-Fahrstreifens aus verkehrstechnischer Sicht keine pauschalen Angaben machen. Konkrete Erfahrungswerte der Staulängen im Anwendungsfall können einen Anhaltspunkt liefern.

Um sinnvolle Längen des Value-Fahrstreifens zu realisieren, werden in der Regel Ausfahrten ohne Abfahrtmöglichkeit zu passieren sein (z. B. Luterbach-Härkingen oder Härkingen-Wiggertal). Für eine verkehrstechnisch sinnvolle Anwendung muss eine ausreichende Nachfrage für die vom Value-Fahrstreifen bediente Relation bestehen, so dass dieser ausreichend ausgelastet wird. Eine Quelle-Ziel-Untersuchung ist somit unumgänglich, um die hohe Auslastung des Value-Fahrstreifens sicherzustellen.

In Bezug auf die **Systemzuverlässigkeit** ist beim Value Pricing vor allem eine zuverlässige Steuerung des Preises wichtig, um jederzeit die gewünschte Auslastung des Value-Fahrstreifens zu gewährleisten. Ausführungen zu einer zu geringen Auslastung finden sich bei den Ergebnissen zum Verkehrsfluss.

Des Weiteren kann der Verkehrsfluss durch die **bauliche Gestaltung** beeinträchtigt werden. Hierbei wirken sich insbesondere Engstellen im Verlauf des Value-Fahrstreifens, stromaufwärts oder stromabwärts negativ aus. Kontrollen sollten mit Rücksicht auf den Verkehrsablauf nicht in den Verkehrsfluss eingreifen.

Die bauliche Gestaltung des Value-Fahrstreifens spielt auch eine grosse Rolle für die Sicherheit und die Qualität. Breite Fahrstreifen führen zu höheren Geschwindigkeiten (FISCHER 2006). Eine bauliche Trennung von der kostenfreien Fahrbahn ist problematisch, wenn keine Ausweichmöglichkeiten (z. B. Nothaltebuchten) bestehen. Unfälle und liegen bleibende Fahrzeuge könnten nicht umfahren werden. Ausserdem bestünde keine Zufahrtmöglichkeit für Betriebs- und Einsatzdienste. Andererseits muss der Wechsel zwischen Value-Fahrstreifen und kostenfreien Fahrstreifen möglichst weitgehend verhindert

werden, da sonst Missbrauch möglich ist. Ein Kompromiss können flexible Barrieren sein, die in Notfällen überfahren werden können.

Weitere Hinweise zu den Möglichkeiten der baulichen Gestaltung von Value-Fahstreifen finden sich in ATLANTA VALUE PRICING ADVISORY TASK FORCE (2003).

Als **Wechselwirkungen mit anderen Systemen** können Daten, die aufgrund des Value-Fahstreifens erhoben werden müssen bzw. durch dessen Einsatz gesammelt werden, weitere Massnahmen des Verkehrsmanagements unterstützen. Bei einer Ausstattung der Fahrzeuge mit technischen Komponenten ist deren Verwendung auch bei anderen Systemen möglich.

Das Fehlen einer baulichen Trennung zwischen den Value-Fahstreifen und den freien Fahstreifen bringt eine hohe verkehrstechnische **Flexibilität**, senkt aber die Kontrollmöglichkeiten und erhöht die Missbrauchsmöglichkeit. Auch sind Fahstreifenwechsel von den im Stau langsam fahrenden Fahrzeugen auf den freien Fahstreifen auf den Value-Fahstreifen mit schnell fahrenden Fahrzeugen hinsichtlich der Verkehrssicherheit kritisch zu bewerten. Eine Flexibilität durch dynamische Hinweisschilder ermöglicht variable Anzeigen und ist bei variablen Preisen nötig.

Positive Wirkungen auf die Umweltbelastungen sind dann möglich, wenn die Anzahl der durch Stau betroffenen Fahrzeuge insgesamt gesenkt wird. Der freie, gleichmässige Verkehrsfluss auf dem Value-Fahstreifen führt gegenüber dem Stauzustand zu niedrigeren **Abgasemissionen** und zu mehr **Lärm**. Die Einsparung bei den Abgasemissionen wird im negativen Sinne kompensiert, wenn durch die Einführung des Value-Fahstreifens mehr Stop-and-Go-Verkehr auf den kostenlosen Fahstreifen verursacht wird.

Durch eine bauliche Trennung des Value-Fahstreifens von den restlichen Fahstreifen nimmt der **Flächenbedarf** entsprechend zu. Für Value Pricing in beide Fahrtrichtungen kann ein Richtungswechselbetrieb den Flächenverbrauch reduzieren. Weiterhin müssen beim Flächenbedarf Einrichtungen zur Kontrolle beachtet werden.

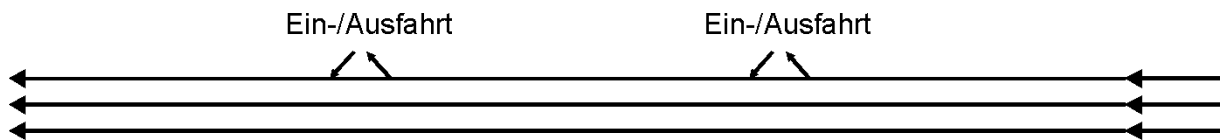
### **Bewertungsmöglichkeiten für die verkehrstechnische Zweckmässigkeit**

Die verkehrstechnische Zweckmässigkeit von Value Pricing lässt sich durch einen Vergleich von Reisezeiten und Abflüssen beurteilen. Da die Kapazität und damit auch die mittlere Geschwindigkeit auf Autobahnen eine Zufallsgrösse ist, können nur Erwartungswerte ermittelt werden. Zwei Forschungsprojekte (BRILON, ZURLINDEN 2003 und BERNARD, AXHAUSEN 2006) wurden für die vorliegende Betrachtung als Grundlage verwendet.

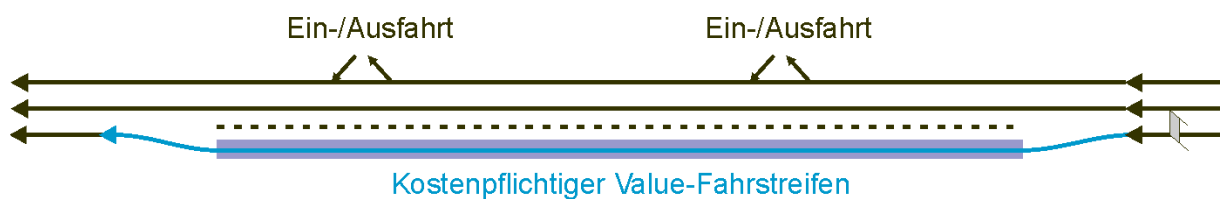
Im folgenden Abschnitt wird eine Methodik vorgestellt, wie Reisezeitvergleiche auf der Grundlage von Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten nach BRILON, ZURLINDEN (2003) und unter Nutzung exemplarischer Fundamentaldiagramme durchgeführt werden können. Der darauf folgende Abschnitt beschreibt einen ähnlichen Ansatz, der Erwartungswerte der Geschwindigkeiten nutzt, wie sie von BERNARD, AXHAUSEN (2006) ermittelt wurden.

Belastbare Ergebnisse können in jedem Fall nur mit einer detaillierten Datengrundlage im konkreten Anwendungsfall erzielt werden.

Für den Vergleich wird jeweils dem dreistreifigen Ausbau einer Strecke („0“-Variante, Bild 11) eine Nutzung des dritten Fahrstreifens für Value Pricing („Value“-Variante, Bild 12) gegenübergestellt. Die Methodik lässt sich auf beliebige Querschnitte übertragen.



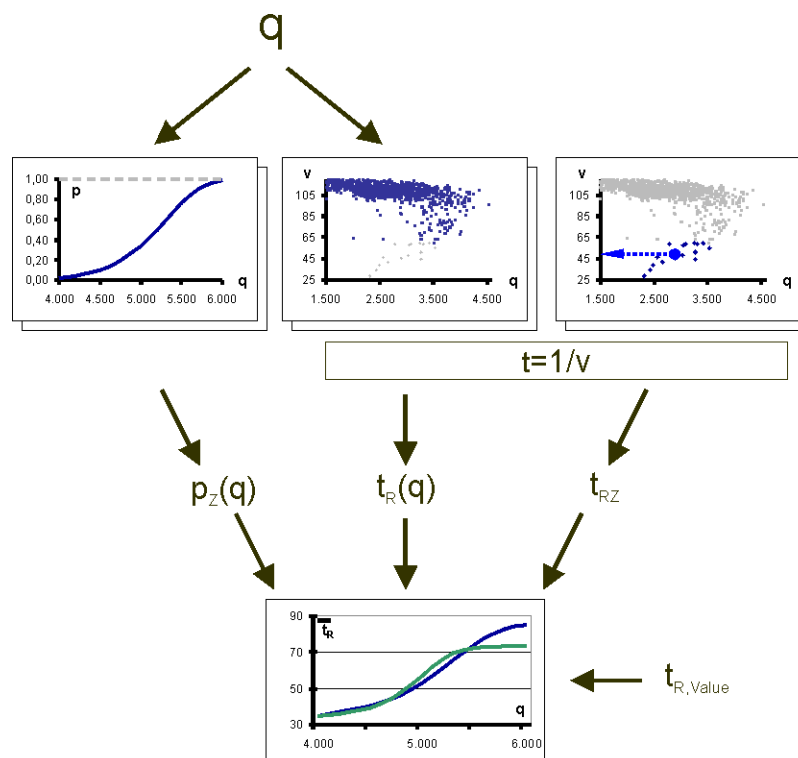
**Bild 11: Skizze der "0"-Variante**



**Bild 12: Skizze der "Value"-Variante**

### Reisezeitvergleiche nach BRILON, ZURLINDEN (2003)

Die einer bestimmten Verkehrsstärke zugeordneten Geschwindigkeiten, mit denen die Reisezeit je Kilometer errechnet wird, können Fundamentaldiagrammen von zwei- bzw. dreistreifigen Querschnitten entnommen werden. Die von der Verkehrsnachfrage  $q$  abhängige wahrscheinliche Reisezeit  $\bar{t}_R$  für die kostenfreien Fahrstreifen wurde aus den Reisezeiten der kostenfreien Fahrstreifen ohne Zusammenbruch  $t_R(q)$  und den Reisezeiten mit Zusammenbruch  $t_{RZ}$ , gewichtet mit der von BRILON, ZURLINDEN (2003) ermittelten Zusammenbruchswahrscheinlichkeit  $p_Z(q)$  des Verkehrsflusses, sowie aus der Reisezeit auf dem Value-Fahrstreifen  $t_{R,Value}$  ermittelt. Die Methodik ist in Bild 13 dargestellt.



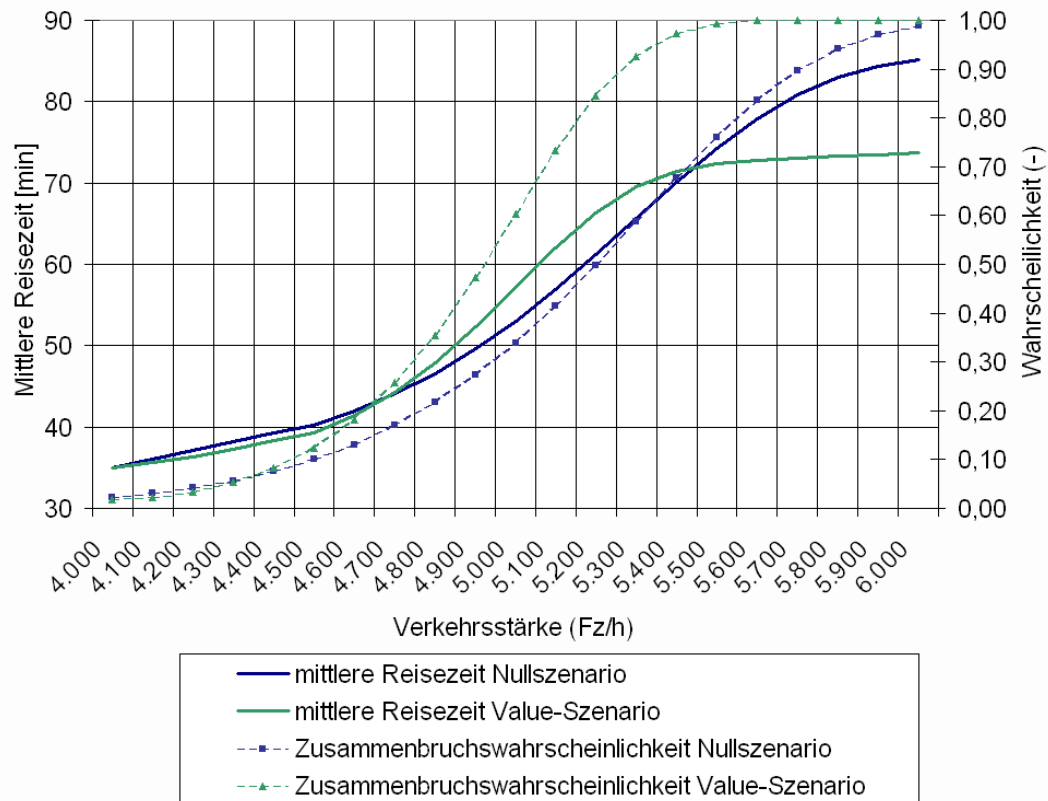
**Bild 13: Methodik des Vergleichs von Reisezeiten mit und ohne Value Pricing**

Die aus dieser Berechnung **ermittelten Reisezeiten** (je Fahrzeug und Kilometer) der beiden Varianten sind gemeinsam mit den Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke als Diagramm in Bild 14 auf Seite 27 dargestellt.

In dem Diagramm wird der bereits in SVI 2006 qualitativ geschilderte Zusammenhang deutlich, dass die „Value“-Variante im teilgebundenen Zustand Nachteile gegenüber der „0“-Variante aufweist, im vollgebundenen Zustand bei planmässiger Auslastung des Value-Fahrestreifens jedoch Reisezeitvorteile bietet.

Die Reisezeitkurven von „Value“-Variante und „0“-Variante in den beispielhaften Berechnungen liegen bei Verkehrsstärken bis ca. 4.700 Fz/h sehr eng beisammen. Bei Verkehrsstärken zwischen ca. 4.700 Fz/h und ca. 5.500 Fz/h weist die „0“-Variante Reisezeitvorteile auf und bei Verkehrsstärken grösser als 5.500 Fz/h weist die „Value“-Variante deutliche Reisezeitvorteile auf.

Eine **Interpretation der Reisezeitdarstellungen**, die mittels der im Anhang B.2 detailliert beschriebenen Untersuchungsmethodik erstellt wurden, sollte jedoch grundsätzlich nur dann vorgenommen werden, wenn sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht eine hochwertige Datenbasis vorliegt. Da die Konsistenz der für den Reisezeitvergleich verwendeten Messdaten nicht vollständig gewährleistet ist, sollte die hier durchgeführte Untersuchung daher eher als methodischer Leitfaden zur Bewertung eines potenziellen Value-Streckenabschnittes verstanden werden.



**Bild 14: Reisezeitenvergleich unter Berücksichtigung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten**

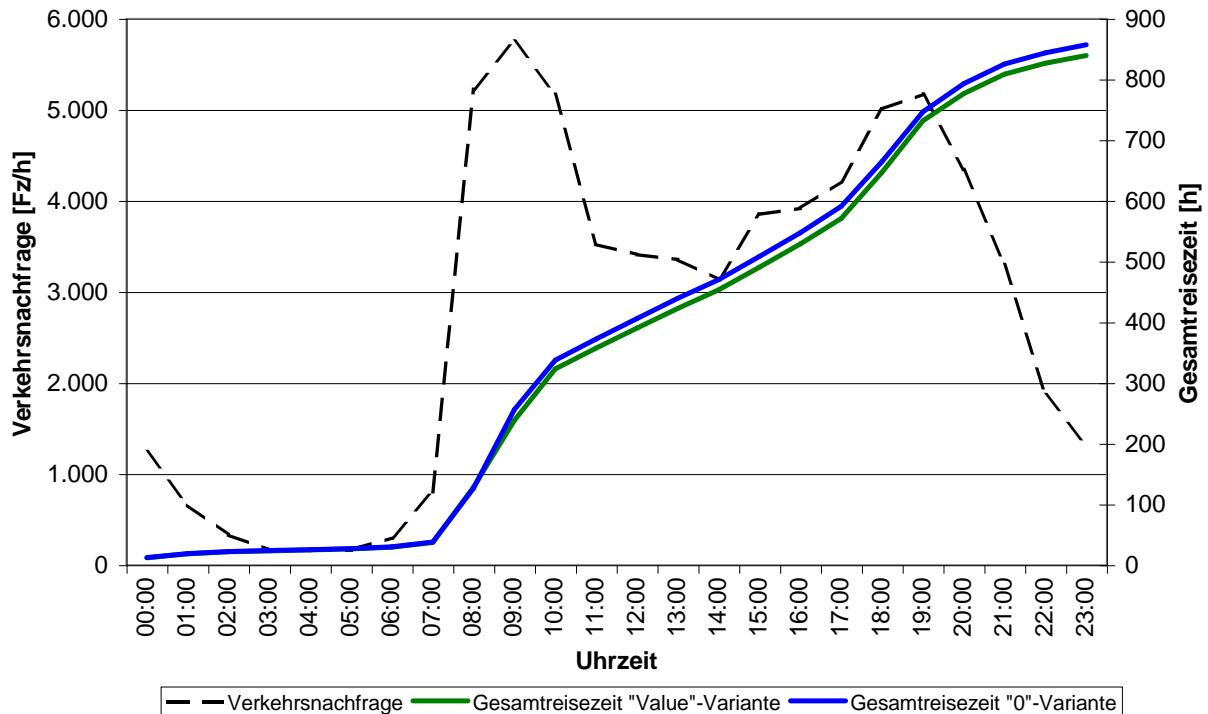
(Grundlage: Messdaten ausgewählter Schweizer Autobahnen)

Die Darstellung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten zeigt infolge der zwar planmässigen, jedoch nicht maximalen Auslastung des Value-Fahrestreifens eine deutlich höhere Zusammenbruchswahrscheinlichkeit auf der zweistreifigen Fahrbahn der „Value“-Variante im Vergleich zur „0“-Variante. Für den Untersuchungsfall wird festgestellt, dass der sich aus den Reisezeiten ergebende Einsatzbereich der „Value“-Variante mit einer hohen Zusammenbruchswahrscheinlichkeit auf der Hauptfahrbahn einher geht und dies wiederum Auswirkungen auf das Value-Konzept haben kann (z. B. durch Rückstau bis in die Zufahrt zum Value-Fahrestreifen).

Um zu einer **Bewertung der beiden Varianten** zu kommen, müssen die von der Verkehrsstärke abhängigen Reisezeiten mit einer Verkehrsstärkenganglinie kombiniert und in eine Reisezeitdifferenz umgerechnet werden. In Bild 15 ist das Ergebnis für die fiktive Ganglinie eines hochbelasteten dreistreifigen Querschnitts<sup>3</sup> als Summenlinie für alle Fahrzeuge eines Streckenabschnittes im Verlauf eines Tages dargestellt. Für die gewählte Tagesganglinie

<sup>3</sup> Grundlage ist eine werktägliche Tagesganglinie der A2 Augst-Basel gem. SVI 2006. Es wurde eine Zunahme des Verkehrsaufkommens von ca. 10% angenommen.

zeigt die „Value“-Variante einen geringfügigen Reisezeit-Vorteil von knapp 14 Stunden Gesamtreisezeit aller Fahrzeuge (Summe aller Einsparungen je Kilometer und Fahrzeug).



**Bild 15: Gesamtreisezeiten für eine fiktive Tagesganglinie**

Ein Nutzen für die Verkehrsteilnehmer auf dem Value-Fahstreifen ergibt sich aber nicht nur durch eine Reisezeitersparnis, sondern auch durch eine grössere **Reisezeitzuverlässigkeit**. Sie ergibt sich aus einem gleichmässigeren Geschwindigkeitsniveau auf dem Value-Fahstreifen und das Ausbleiben von Verkehrszusammenbrüchen. Die Verbesserung kann mit Hilfe der Anzahl der bisherigen Verkehrszusammenbrüche auf einer Strecke quantifiziert werden.

### Reisezeitvergleiche nach BERNARD, AXHAUSEN (2006)

Ähnliche Untersuchungen wie BRILON, ZURLINDEN (2003) haben auch BERNARD, AXHAUSEN (2006) auf der Grundlage von Verkehrszählungen auf Schweizer Autobahnen durchgeführt. Für die Berechnung von Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten haben sie jedoch einen anderen mathematischen Ansatz verfolgt, indem Verkehrsstärke und Kapazität als getrennte Variablen betrachtet werden. Es ergeben sich deutlich geringere Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten als bei BRILON, ZURLINDEN. Für realistische Auslastungsgrade<sup>4</sup> (bis etwa 120 %) bleiben die Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten deutlich unter 50 %. Daraus

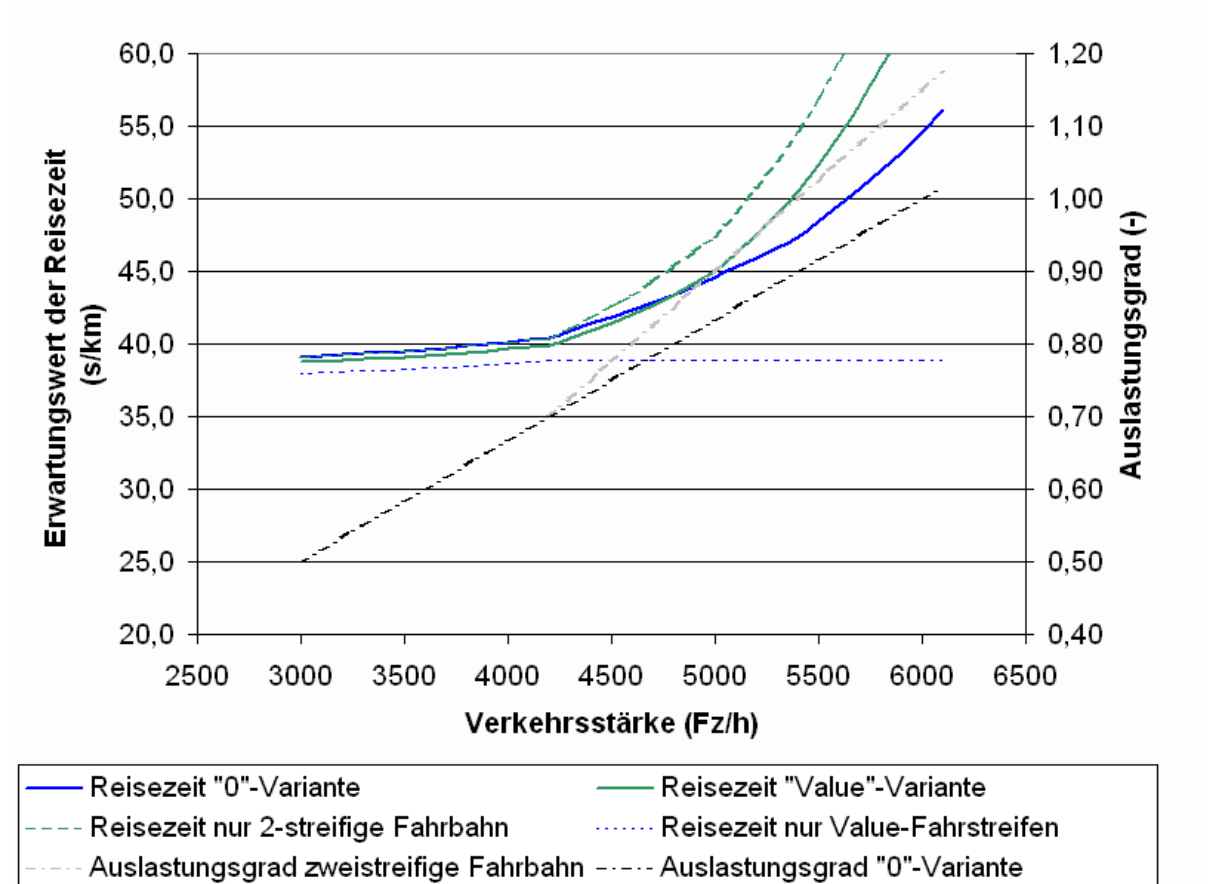
<sup>4</sup> Der Auslastungsgrad wird für eine praxisnahe Berechnung auf die Schweizer Norm SN 640 018a bezogen.

resultiert eine negative verkehrstechnische Bewertung des Value Pricings, da Situationen, in denen sich ein Value-Fahstreifen lohnt, nahezu nicht mehr auftreten.

BERNARD, AXHAUSEN (2006) haben Erwartungswerte für die Geschwindigkeit ermittelt, wie sie im mehrjährigen Mittel auftreten. Hierbei sind also Stauereignisse und ihre Dauer bereits berücksichtigt. Diese Geschwindigkeiten für zwei- bzw. dreistreifige Querschnitte können zur Reisezeitermittlung genutzt werden. Bild 16 zeigt die Reisezeiten für „0“- und „Value“-Variante (je Kilometer). Im Diagramm ist zu sehen, dass sich die Reisezeiten der „Value“-Variante erst bei Erreichen von 4.200 Fz/h (also 1.400 Fz/h auf dem Value-Fahstreifen) von der „0“-Variante unterscheiden. Ab diesem Wert bleibt die Reisezeit der Fahrzeuge auf dem Value-Fahstreifen konstant, während die Reisezeit auf der freien Fahrbahn stärker als in der „Null“-Variante ansteigt.

Da sich die Krümmung der Reisezeitkurven erst bei hohen Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten umkehrt, schneiden sich bei diesem Vorgehen die beiden Graphen nicht mehr. Die „0“-Variante ergibt stets kürzere Reisezeiten.

Ob die starke Abweichung zu den Ergebnissen nach BRILON, ZURLINDEN auf die Datengrundlage zurückzuführen ist (deutsche vs. schweizer Autobahnen) oder allein mit der abweichenden Methodik zusammenhängt, konnte im Rahmen dieses Projekts nicht geklärt werden. Die abschliessenden Ergebnisse von BERNARD, AXHAUSEN werden erst im Laufe des Jahres 2007 vorliegen.

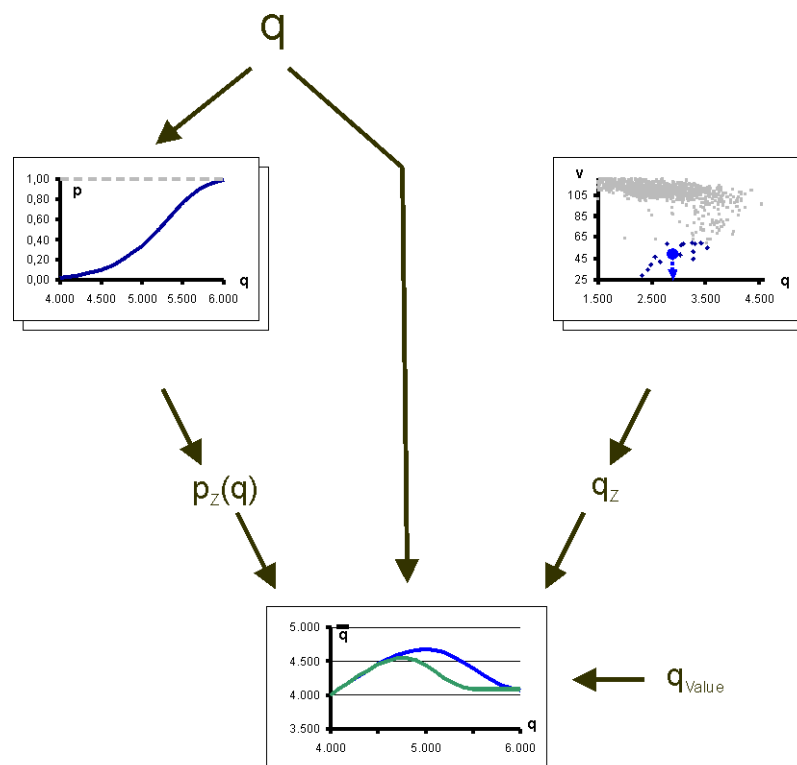


**Bild 16: Erwartungswerte der Reisezeiten und Auslastungsgrade mit  $SV = 8\%$  und  $v_{\max}=100\text{ km/h}$  (Ansatz nach BERNARD, AXHAUSEN 2006)**

### Vergleich der wahrscheinlichen Abflüsse für den Bereich des Value-Fahrstreifens

Als Mass der Leistungsfähigkeit einer Strecke mit Value Pricing dient der Abfluss aus dieser Strecke. Da der erzielbare Abfluss von der (schwankenden) Verkehrsnachfrage und zufälligen Einflüssen abhängt, können nur „wahrscheinliche Abflüsse“ ermittelt werden. Diese können in der Realität zeitlich beschränkt übertroffen oder nicht erreicht werden, stellen sich jedoch über einen langen Zeitraum gemittelt ein. Die Berechnung erfolgt mit den Zusammenbruchwahrscheinlichkeiten nach BRILON, ZURLINDEN (2003).

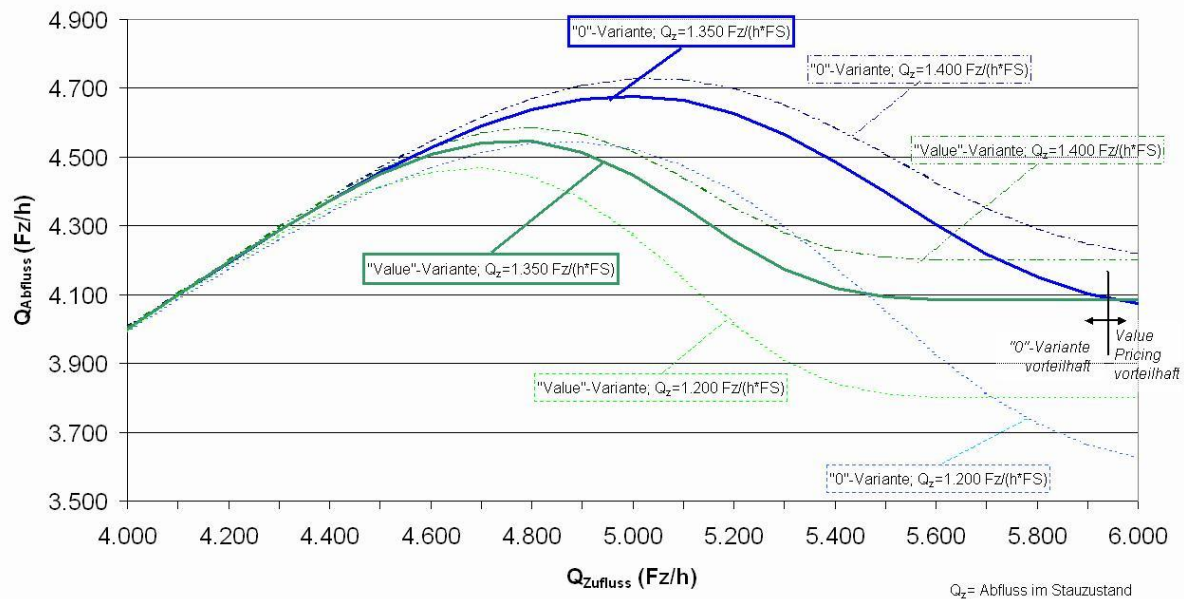
Wie auch die Reisezeiten, stellt der wahrscheinliche Abfluss  $\bar{q}$  den mit den Zusammenbruchwahrscheinlichkeiten  $p_z(q)$  gewichteten Mittelwert der Abflüsse mit und ohne Zusammenbruch des Verkehrsflusses  $q_z$  bzw.  $q$  dar. Für den Value-Fahrstreifen wird ein maximaler Abfluss  $q_{\text{Value}} = 1400 \frac{\text{Fz}}{\text{h}}$  (vgl. S. 32) angesetzt. Die Methodik ist in Bild 17 dargestellt.



**Bild 17: Methodik des Vergleichs von wahrscheinlichen Abflüssen mit und ohne Value Pricing**

Der Abfluss ohne Zusammenbruch entspricht der Nachfrage stromaufwärts des Value-Fahstreifens. Demgegenüber ist der Abfluss bei einem Zusammenbruch um den durch diesen bedingten Abfall der Verkehrsstärke (entspricht dem unteren Ast des Verkehrsstärke-Geschwindigkeits-Diagramms<sup>5</sup>) reduziert. Der Vergleich ist in Bild 18 dargestellt.

<sup>5</sup> Hierfür wird der Schwerpunkt der Punktwolke im unteren Ast des Geschwindigkeits-Verkehrsstärke-Diagramms verwendet, welcher der am häufigsten vorkommenden Geschwindigkeits-Verkehrsstärke-Beziehung des jeweiligen Fundamentaldiagramms entspricht.



**Bild 18: Vergleich wahrscheinlicher Abflüsse in Abhängigkeit der Verkehrsnachfrage**

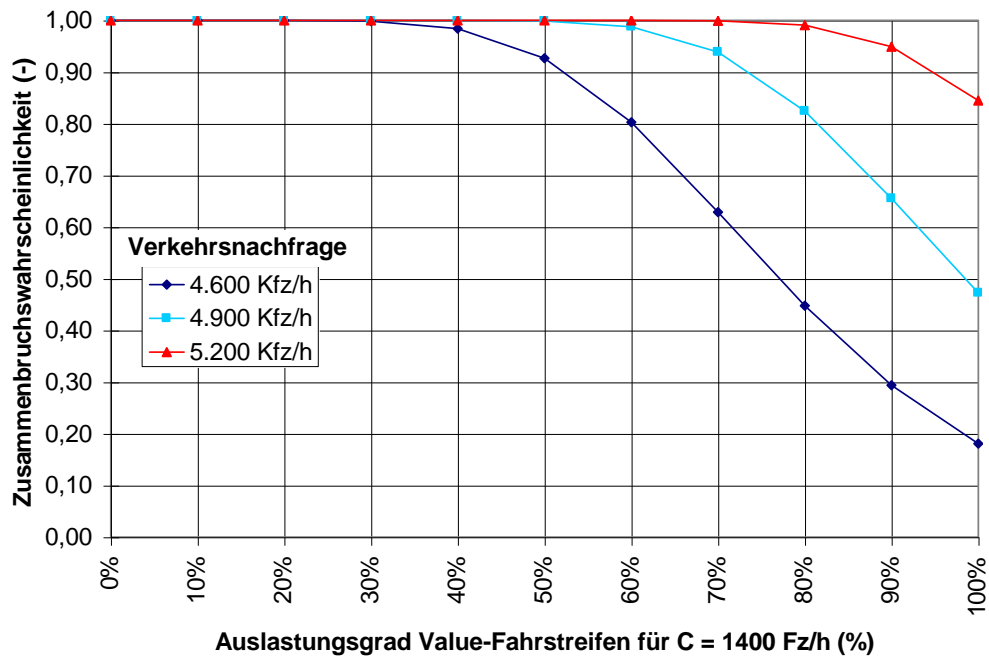
Auch bei dieser Untersuchung wurde die Sensitivität der **Ergebnisse** vom zugrunde liegenden Datenmaterial deutlich. Eine geringfügige Veränderung des Abflusswertes im Falle des Zusammenbruchs führt zu einer deutlichen Verschiebung des Schnittpunktes der Abfluss-Grafen, ab dem die „Value“-Variante leistungsfähiger als die „0“-Variante wird.

Im Vergleich zur Reisezeitbetrachtung stellt sich die „Value“-Variante bei der Abflussbetrachtung grundsätzlich weniger vorteilhaft dar. Dieses ist darin begründet, dass abgesehen von den Werten des Abflusses im Falle eines Zusammenbruchs keine Daten aus den für den Reisezeitvergleich zugrunde liegenden Fundamentaldiagrammen einfließen, sondern lediglich die Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten gemäss BRILON, ZURLINDEN (2003). Diese beruhen jedoch auf Beobachtungen auf deutschen Autobahnen.

### Einfluss des Auslastungsgrads des Value-Fahrstreifens

Zusätzlich wurden auf Grundlage von BRILON, ZURLINDEN (2003) die Auswirkungen unterschiedlicher Auslastungen des Value-Fahrstreifens untersucht. Wie bereits in SVI 2006 dokumentiert, ist die optimale Auslastung des Value-Fahrstreifens von hoher Bedeutung. Im Falle einer hohen Verkehrsnachfrage müssen die beiden Fahrstreifen der Hauptfahrbahn bereits planmässig höhere Verkehrsstärken als in der „0“-Variante abwickeln. Sollte die Auslastung des Value-Fahrstreifens jedoch unterhalb der planmässigen Auslastung liegen, müssen die beiden Fahrstreifen der Hauptfahrbahn zusätzlich die Differenz zur planmässigen Verkehrsstärke aufnehmen. Folglich steigt das Risiko eines Verkehrszusammenbruchs auf diesen Fahrstreifen an. Bild 19 stellt die Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten (nach BRILON, ZURLINDEN 2003) auf der Hauptfahrbahn in Abhängigkeit von der Value-Fahrstreifen-Auslastung für verschiedene Verkehrsnachfragen dar (wobei 100 %

der gewünschten maximalen Auslastung von ca. 1.400 Fz/h entsprechen; vgl. hierzu auch SVI 2006).



**Bild 19: Zusammenbruchswahrscheinlichkeit auf der Hauptfahrbahn in Abhängigkeit von der Auslastung des Value-Fahrstreifens**

### Fazit

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden mehrere Parameter und Randbedingungen identifiziert, die einen grossen Einfluss auf die Ergebnisse haben und im Vorfeld der Bewertung einer Strecke genau zu untersuchen sind:

- ◆ Der dreistreifige und der zweistreifige Streckenabschnitt, deren Fundamentaldiagramme für die Untersuchung herangezogen werden, sollten eine hohe Übereinstimmung hinsichtlich Topographie, Verkehrszusammensetzung und Verkehrsfluss aufweisen. Bei Verwendung von gemittelten Kennwerten ist auf lokale Besonderheiten zu achten.
- ◆ Die gewünschte Auslastung des Value-Fahrstreifens beeinflusst massgeblich die Wahrscheinlichkeit des Zusammenbruchs auf der zweistreifigen Hauptfahrbahn.
- ◆ Anhand des voraussichtlichen Abflusses im Falle des Verkehrszusammenbruchs wird aus den vorhandenen Fundamentaldiagrammen die Reisegeschwindigkeit im Falle des Verkehrszusammenbruchs ermittelt. Damit dieser Wert hinreichend genau bestimmt werden kann, ist eine grosse Anzahl an Messdaten im unteren Ast des Verkehrsstärke-Geschwindigkeits-Diagramms erforderlich. Alternativ können gemittelte Geschwindigkeiten z. B. nach BERNARD, AXHAUSEN (2006) verwendet werden.

Die beiden gezeigten Untersuchungsmethoden liefern stark abweichende Ergebnisse, die jedoch beide zeigen, dass Value-Pricing aus verkehrstechnischer Sicht kritisch zu sehen ist. Reisezeitersparnisse sind nicht oder nicht in nennenswertem Umfang zu erwarten

### 3.3 Handlungsempfehlungen

Ein Value-Fahrstreifen kann bei bestimmten Verkehrsstärken dazu beitragen, zumindest für einen Teil der Verkehrsteilnehmer niedrigere Reisezeiten und einen höheren Abfluss zu erreichen. Ob und wie Value Pricing aus verkehrstechnischer Sicht im konkreten Einzelfall vorteilhaft ist, lässt sich nur mit **detaillierten Untersuchungen** ermitteln. Die vorliegenden Untersuchungen verdeutlichen, dass sich Value Pricing je nach Ermittlung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten nicht oder nur in einem relativ schmalen Verkehrsnachfragebereich aus verkehrstechnischer Sicht lohnt. Für detaillierte Untersuchungen kann die im Abschnitt „Reisezeitvergleiche nach BRILON, ZURLINDEN (2003)“ (S. 25 ff.) vorgestellte Methodik verwendet werden.

Es ist grundsätzlich zu bedenken, dass ein Value Pricing verkehrstechnisch nur nützlich ist, wenn auf den freien Fahrstreifen Stau entsteht. Durch die negativen Folgen des Staus kann somit keine positiv zu beurteilende Gesamtsituation entstehen. Value Pricing ist folglich nur in Betracht zu ziehen, wenn wirkungsvollere Massnahmen nicht realisierbar sind.

Da die Ergebnisse stark sensitiv gegenüber den Eingangsgrößen sind, ist bei der konkreten Bewertung von Value-Fahrstreifen für einen geplanten Anwendungsfall auf eine **sehr gute Datengrundlage** zu achten. Dies umfasst Daten zum Verkehrsfluss, die über einen möglichst langen Zeitraum erhoben wurden und Aufschluss über den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit (Fundamentaldiagramm) für die betrachtete Strecke und einen vergleichbaren zweistreifigen bzw. dreistreifigen Abschnitt geben. Darüber hinaus sollten aus ihnen die Wahrscheinlichkeit und die Folgen von Verkehrszusammenbrüchen (Capacity Drop) ermittelt werden können.

Für die Festlegung der **Mindestlänge des Value-Fahrstreifens** sind zwei Aspekte zu berücksichtigen:

- ◆ Um eine hohe Auslastung des Value-Fahrstreifens sicherzustellen, sind Quelle-Ziel-Untersuchungen durchzuführen. Dies gilt besonders für Express-Fahrstreifen, die Autobahnausfahrten ohne Ausfahrtmöglichkeit passieren.
- ◆ Der Value-Fahrstreifen sollte mindestens so lang sein, dass eine Überstauung des Einfahrbereichs unwahrscheinlich ist. Hierfür sind Erfahrungswerte üblicher lokaler Staulängen hilfreich, wenn keine genauere Untersuchungen vorliegen.

Der Value-Fahrstreifen muss die bekannte Engstelle (z. B. Fahrstreifensubtraktion) überbrücken, damit ein ungehinderter Abfluss sichergestellt ist.

Neben den Reisezeitbetrachtungen auf dem Value-Streckenabschnitt sollte auch die **Strecke vor Beginn des Value-Fahrstreifens** untersucht werden, um das Risiko von Behinderungen im Zufluss zum Value-Fahrstreifen abschätzen zu können.

Die bei Einführung eines Value-Fahrstreifens erforderlichen Ent- und Verflechtungsvorgänge haben einen negativen Einfluss sowohl auf den Verkehrsfluss als auch auf die Sicherheit. Die **Verkehrsführung im Zufluss- und Abflussbereich** muss entsprechend eindeutig und übersichtlich sein.

Die für Value Pricing zusätzlich **erforderlichen Informationen** wie z. B. Angaben zu Auffahr- und Abfahrmöglichkeiten auf den Value-Fahrstreifen oder die Kosten für die Nutzung des Value-Fahrstreifens sind den Nutzern rechtzeitig und begreifbar zur Verfügung zu stellen.

Besondere Anforderungen ergeben sich zudem an die **bauliche Gestaltung** des Value-Fahrstreifens, da diese auf die Geschwindigkeit, die Sicherheit, den möglichen Missbrauch, den Flächenbedarf, die verkehrstechnische Flexibilität und die Einsatzmöglichkeiten von Einsatz- und Betriebsdiensten wirkt. Insbesondere eine bauliche Trennung einzelner Fahrstreifen ist aus Sicherheitsgründen kritisch zu sehen. Empfehlungen zur baulichen Gestaltung finden sich in PEREZ 2003. Verflechtungsbereiche sollten den einschlägigen Richtlinien für Hochleistungsstrassen folgend gestaltet werden.

## 4 Nutzung von Fahrzeuggeräten

### 4.1 Einleitung

Bei allen betrachteten Szenarien für das Mobility Pricing (FRÖHLICH, KERN, DITTRICH 2006) sollen elektronische Zahlungssysteme (ETC) zum Einsatz kommen. Bei den meisten Szenarien sind sie sogar zwingend erforderlich. Diese Zahlungssysteme greifen auf fahrzeugseitige Geräte zurück. Bei den Szenarien A (Objektpricing) und B (Zonen-Modell) genügt u. U. ein Speicherchip (RFID-Tag). Für die Szenarien C (Netz-Modell), D (Zonen-Netz-Modell), E (Distanz-Modell) ist eine On-Board-Unit (OBU) ggf. mit Satellitenortung und Mobilfunk (GNSS/CN) einzubauen. Letztere benötigt eine Verbindung zum Stromnetz des Fahrzeugs.

Der Einbau von Fahrzeuggeräten erfolgt pro Fahrzeug in der Regel nur einmal. Für On-Board-Units ist Fachpersonal erforderlich. Das Gerät oder der RFID-Tag müssen wie derzeit die Vignette für die Nationalstrassenabgabe spätestens an der Grenze (des gebührenpflichtigen Bereichs) angebracht werden. An den Zufahrten muss deshalb die Infrastruktur für den Verkauf und Einbau der Geräte vorgehalten werden.

Die folgenden Abschnitte geben Hinweise zum Platzbedarf dieser Infrastruktur in Abhängigkeit von Verkehrsstärken, Nutzeranteilen und Einbauzeiten.

### 4.2 Wirkungsanalyse und Bewertung

Folgende Einbauzeiten erscheinen nach heutigem Stand der Technik realistisch (Tabelle 2; nach MÜHLETHALER 2007):

**Tabelle 2: Mittlere Einbauzeiten von Fahrzeuggeräten für ETC**

Gerät	Einbauzeit (min)
RFID	5
OBU ggf. mit GNSS/CN	30

Beim Einbau von On-Board-Units ist von einer zunehmenden Standardisierung auszugehen, die zu einer Verkürzung der Einbauzeiten führen wird. Zusätzlich zum Einbau müssen die Geräte noch registriert und eindeutig dem Fahrzeug bzw. Nutzer zugeordnet werden. Die Anforderungen an die Identifikation können dabei unterschiedlich sein. Hier ist deshalb mit zusätzlichen Zeiten zu rechnen, wenn die Fahrzeugparameter (z. B. Typ, Kennzeichen) zur Identifikation nicht ausreichen.

Da der erforderliche Platzbedarf stark von den Randbedingungen (verwendetes Gerät, Verkehrsstärken, Nutzeranteile etc.) abhängt, wird im Folgenden anhand des Beispiels Grenzübergang Basel/Weil ein Referenzfall untersucht. An ihm können die zu erwartenden Größenordnungen abgelesen werden.

## RFID-Tags (Szenarien A und B)

Basel/Weil (Zählstelle Nr. 143) weist einen durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) von etwa 32.000 Fz auf. Wenn hiervon 60 % in eine Fahrtrichtung fahren und in der Spitzenstunde 9 % der Fahrzeuge verkehren, passieren maximal etwa 2.900 Fz/h den Grenzübergang. Da Lastwagen kein neues Gerät benötigen, können sie abgezogen werden. Bei einem Schwerverkehrsanteil von 15 % verbleiben knapp 1.500 PW/h. In Tabelle 3 ist die Anzahl erforderlicher Abfertigungsstellen in Abhängigkeit des Anteils der Fahrzeuge, die ein Gerät benötigen und der Dauer des Einbaus angegeben. Es wird von einer Auslastung der Abfertigungsstellen von 90 % ausgegangen.

**Tabelle 3: Anzahl der benötigten Abfertigungsstellen zum Einbau von RFID-Tags**

Anteil der PW mit Einbau (%)	Mittlere Einbauzeit (min)		
	2	5	8
1	1	2	3
5	3	7	11
10	6	14	22

Um den Platzbedarf gering zu halten, können die Abfertigungsstellen hintereinander am Strassenrand oder in Schräganordnung eingerichtet werden. Es wird bei 5 % auszustattender PW und fünf Minuten mittlerer Einbauzeit beispielsweise ein Fahrstreifen von etwa 60 m Länge benötigt (Stellplatzlänge von 8 m, um zügiges Ein- und Ausparken zu ermöglichen). Durch die Längsanordnung wäre beispielsweise die Umnutzung eines Fahrstreifens, der bisher für den Schwerverkehr genutzt wird, denkbar. Eine Längsanordnung bietet weiterhin grösstmögliche Flexibilität für die Anzahl und Länge der Abfertigungsstellen.

## On-Board-Units (Szenarien C bis E)

Der Einbau von On-Board-Units erfordert Einbauten in das Fahrzeug, die von Fachpersonal durchzuführen sind. Auch wenn in Zukunft mit verhältnismässig kurzen Einbauzeiten (< 30 min) zu rechnen ist, wird ein Abstellen des Fahrzeugs unumgänglich sein. Ein Einbau wie jener von RFID-Tags als Abfertigungsprozess ist somit nicht sinnvoll. Die Fahrzeuge müssen vom durchfahrenden Verkehr getrennt und auf einen separaten Bereich geführt werden. Der Einbau kann nur für wenige Fahrzeuge pro Stunde sinnvoll erfolgen. Die dezentrale Ausstattung der Fahrzeuge (nicht erst an der Grenze) erscheint unumgänglich.

## 4.3 Handlungsempfehlungen

Systeme, die ein Fahrzeuggerät bei allen Nutzern voraussetzen, können mit grossen Problemen an den Grenzen des gebührenpflichtigen Bereichs einhergehen. Nur bei einer europaweiten Einführung oder der Verwendung von einfachen RFID-Tags ist eine solche Variante verkehrstechnisch überhaupt realistisch.

Die Erfahrungen mit der Vignette zeigen, dass trotz eines ausgedehnten Vertriebsnetzes Engpässe an den Grenzübergängen entstehen können. Dieses Problem wird bei ETC noch verschärft, da zusätzlich zum Anbringen eines Tags noch eine Registrierung erforderlich wird.

Wenn der Anteil der Personenwagen, die noch nicht über einen Tag verfügen, in einer Grössenordnung von fünf Prozent liegt, erscheint der Verkauf an der Grenze möglich. Eine Überschlagsrechnung zeigt, dass ein zusätzlicher Fahrstreifen von etwa 60 m Länge mit längs angeordneten Abfertigungsstellen an einem Grenzübergang wie Basel/Weil ausreichen würde. Die bereits jetzt bestehenden Probleme mit dem Verkauf der Vignette zeigen jedoch, dass hierfür neben den Investitionen für die Infrastruktur auch Kosten für zusätzliches Personal anfielen.

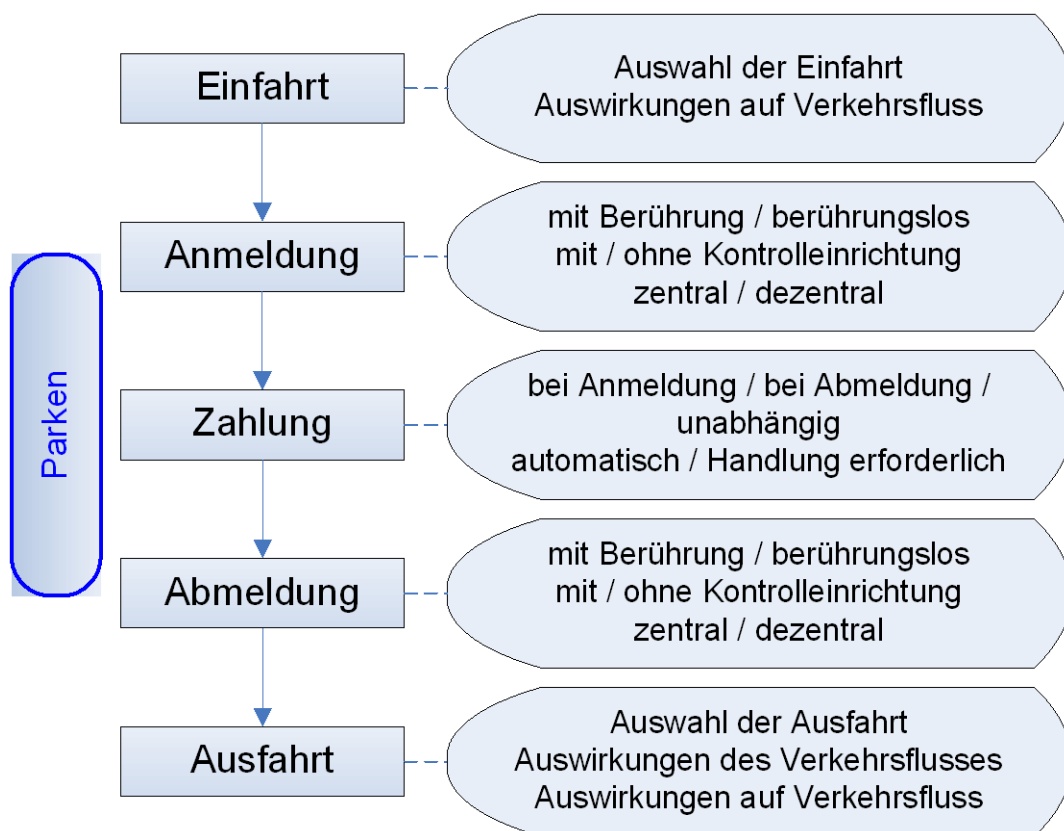
## 5 Parkierungseinrichtungen

### 5.1 Einleitung

Systeme zur Erhebung von Parkentgelten werden seit langer Zeit verbreitet eingesetzt. Unterschiedliche Abfertigungssysteme sind mit ihren Vorteilen und Nachteilen ausführlich in der Fachliteratur und in den relevanten technischen Regelwerken dargestellt (SN 640280 ff. "Parkieren" des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), „Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs“ (EAR 05, FGSV 2005) und „Hinweise zum Einsatz bargeldloser Zahlungsmittel beim Parken“ (FGSV 1998)).

In diesem Projekt steht neben einem kurzen Überblick zu den grundsätzlichen Möglichkeiten der Erhebung von Parkentgelten die Betrachtung als Sonderfall des Mobility Pricing im Vordergrund.

Der Prozessablauf vor der Einfahrt in eine Parkieranlage und nach dem Verlassen der Parkieranlage entspricht dem Ablauf vor bzw. nach der Abfertigung an einer Mautstation (vgl. Bild 2, S. 6). Der Teil, der der Abfertigung an der Mautstation entspricht, umfasst das eigentliche Parken, die Bezahlung sowie Abfertigungen bei der Einfahrt und/oder bei der Ausfahrt. In Bild 20 ist der Prozessablauf für diese Phase dargestellt.



**Bild 20: Prozessablauf zur Abfertigung an einer Parkieranlage**

## 5.2 Wirkungsanalyse und Bewertung

Die folgenden Ausführungen stellen die grundsätzlichen Möglichkeiten verschiedener **Ein- und Ausfahrtgestaltungen** von Parkieranlagen dar und beruhen auf Ausführungen der oben genannten relevanten Planungsgrundlagen.

Bei den Abfertigungseinrichtungen kann zwischen freier und kontrollierter Ein- und/oder Ausfahrt unterschieden werden. Sofern die Parkieranlage selbst nicht überlastet ist, gehen bei einer **freien Einfahrt** verkehrstechnische Wirkungen nur von notwendigen Fahrstreifenwechseln zum Erreichen der Einfahrt aus, bei einer **freien Ausfahrt** nur vom Einordnungsprozess der ausfahrenden Fahrzeuge in den fließenden Verkehr. Eine schlechte Gestaltung dieser Bereiche im Bezug auf eine unzureichende oder zu späte Beschilderung oder eine unzureichende Dimensionierung der Einfahr- bzw. Ausfahrbereiche ist in den Folgen mit denen, die in diesen Fällen an einer Mautstation auftreten, vergleichbar.

Eine **kontrollierte Ein- oder Ausfahrt**, die keinen Halt erfordert, entspricht einer Abfertigung mit ETC an den Mautstationen. Hierbei können die gleichen oder ähnliche Systeme zum Einsatz kommen (z. B. Chipkarten mit eigenständiger Energieversorgung). Die Einführung von ETC-Systemen auch beim Parken verspricht grundsätzlich Vorteile, insbesondere wenn dieselbe Fahrzeugausstattung wie beim Road Pricing benutzt werden kann. Allerdings dürfte bei bestehenden Parkhäusern in vielen Fällen aus baulichen Gründen und Platzgründen nicht möglich sein, separate Fahrstreifen für ETC-Nutzer an den Parkhauseinfahrten bereitzustellen. Der Nutzen von ETC-Systemen an Parkieranlagen ist bei Mischung mit anderen Abfertigungsarten geringer, aber für ETC-Nutzer verbleibt der Vorteil einer mühelosen Abfertigung ohne Gang zum Kassenautomaten mit einem ohnehin im Fahrzeug vorhandenen System.

Eine kontrollierte Ein- oder Ausfahrt in Verbindung mit einem Halt kann mit den entsprechenden Prozessen an Mautstationen verglichen werden. Bei Parkieranlagen unterscheidet man prinzipiell zwischen personalunterstützten und automatischen **Kontrollen**. Eine personalunterstützte Abfertigung, wie sie bei der Erhebung von Strassenbenutzungsgebühren noch verbreitet vorzufinden ist, kommt beim Parken aus wirtschaftlichen Gründen nur noch selten zum Einsatz. Am ehesten ist dies bei Systemen mit kontrollierten Ein- oder Ausfahrten der Fall, bei denen manuell bei der Einfahrt oder Ausfahrt ein pauschaler Betrag kassiert wird. Bei kontrollierten Ein- und Ausfahrten ist eine Handkassierung an der Ausfahrt in Verbindung mit einer manuellen Parkscheinausgabe oder einer automatischen Kartenausgabe an der Einfahrt möglich.

Die automatischen Systeme mit Halt sowie kontrollierten Ein- und Ausfahrten können wie folgt unterschieden werden:

- Systeme mit automatischer Ticketausgabe an der Einfahrt und manueller Ticketeingabe an der Ausfahrt (Magnetstreifen-, Barcodetickets, Parkchips oder Chipkartentickets). Dies sind nach GERLACH (2002) Systeme mit Ticketausgabe. Eine Bezahlung ist sowohl bei der Ein- oder Ausfahrt als auch unabhängig von der Ein- und Ausfahrt möglich. Die Systeme sind vergleichbar mit Mautsystemen, bei denen man bei der Einfahrt in den Bepreisungsraum ein Ticket erhält und bei der Ausfahrt anhand dieses Tickets der Fahrpreis berechnet wird.
- Systeme mit manueller Karteneingabe an Einfahrt und Ausfahrt (Kredit-/Debitkarten oder Guthaben-/Kundenkarten). Dies sind nach GERLACH (2002) Systeme mit Ticketersatz durch bargeldlose Zahlungsmedien. Dies entspricht einer Kartenzahlung an Mautstationen.
- Systeme mit berührungslosem Kontrollvorgang, die aufgrund von Vorgaben beim Leseabstand einen Halt erfordern (Handydisplay, Transponderchipkarte). Eine Bezahlung ist hierbei im Voraus oder durch Abbuchung bzw. Rechnungsstellung unabhängig vom Parkvorgang möglich. Vergleichbar ist dies mit den sonstigen Zahlungsmethoden an Mautstationen, die einen Halt erfordern.

Die **Systemauswahl** für eine Parkierungseinrichtung hängt vom Ziel der Kontrollen an Ein- und/oder Ausfahrt ab. Dabei kann man unterscheiden, ob nur die Zufahrtberechtigung zu prüfen ist, ein pauschales Parkentgelt oder ein von der Parkdauer abhängiges Parkentgelt erhoben werden soll oder ob ein vom Zeitpunkt des Parkbeginns oder Parkendes abhängiges Entgelt gefordert wird. Je aufwändiger das Bepreisungsschema ist, desto höher sind die Ansprüche an die Systemfähigkeit. Diese entsprechen den Anforderungen, die sich aufgrund verschiedener Preisstrategien bei Mautsystemen ergeben.

Die Systeme sollten auch an den Ansprüchen orientiert werden, um weitere Kontrollen nicht nötig werden zu lassen.

Die bei den Mautstationen ermittelten Wirkungen werden bei Parkierungseinrichtungen dadurch gemindert, dass in der Regel kein Schwerverkehrsanteil bei der Abfertigung und den Anfahrprozessen zu beachten ist und dass durch die gegebenen geometrischen Randbedingungen niedrigere Geschwindigkeiten bedingt sind.

In Tabelle 4 und Tabelle 5 finden sich **Abfertigungszeiten und Kapazitäten** an verschiedenen Abfertigungssystemen für Parkierungseinrichtungen (aus den schweizer und deutschen Normen bzw. Empfehlungen zum Parken). Lange Abfertigungszeiten ergeben sich besonders bei einer notwendigen Identifizierung der Nutzer bei Ein- oder Ausfahrt, durch notwendige Abbuchungsvorgänge, durch restriktive Vorgaben z. B. bei der Einschubrichtung von Tickets oder durch Sicherheitsprüfungen. Bei der Handkassierung ist die Streuung der einzelnen Werte sehr hoch.

**Tabelle 4: Abfertigungszeiten und Kapazitäten an Abfertigungseinrichtungen**  
(Quelle: FGSV 2005)

Kontrollmedium	Einfahrt			Ausfahrt		
	Abfertigungszeit (s) Einzel- fahrzeuge	Abfertigungszeit (s) Folge- fahrzeuge	Kapazität (PW/h je Fahrstreifen)	Abfertigungszeit (s) Einzel- fahrzeuge	Abfertigungszeit (s) Folge- fahrzeuge	Kapazität (PW/h je Fahrstreifen)
<b>Gelegenheitsparker</b>						
Kredit-/Debitkarten	24,40	21,60	160	19,50	16,50	210
Guthaben-/Kundenkarten	16,40	16,70	210	24,90	22,00	160
Handkassierung	17,80	14,90	240			
Chipkartentickets	10,90	10,40	340	11,10	9,90	360
Magnetstreifen-, Barcodetickets/Chipcoins	13,30	12,30	290	11,60	10,60	340
Magnetseiten- streifentickets	13,30	12,30	290	15,20	14,00	250
<b>Mietparker</b>						
Magnetstreifen-/ Chip- kartentickets	15,50	15,20	235	14,70	13,30	270
Magnetschlüssel/ Transponderchipkarten	10,30	9,40	380	11,20	9,90	360

Bei der Einrichtung von Parkierungseinrichtungen ist besonders darauf zu achten, dass der **Rückstau** nicht in das angrenzende Verkehrsnetz zurückreicht. In den EAR 05 sind Staulängen unterschiedlicher statistischer Sicherheit bei der Ein- und Ausfahrt in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke im Zustrom zur Einfahrt angegeben. Zudem werden Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit von der mittleren Ein- bzw. Ausfahrtdauer definiert.

Aus Sicherheitsgründen und Qualitätsgründen ist auch ein zu grosser Rückstau in die Parkierungseinrichtung hinein zu vermeiden.

**Tabelle 5: Mittlere Leistungsfähigkeit der Abfertigungselemente**  
(Quelle: SN 640 293)

	Kapazität (PW/h je Fahrstreifen)
<b>Einfahrt</b>	
Automatische Barriere mit Schlüsselbedienung	350
Automatische Barriere mit Induktionsschleufe und Parkscheinausgabe	400
Parkscheinausgabe von Hand (mit Stempeluhr)	450
<b>Ausfahrt</b>	
Ausfahrtskontrolle, Bezahlen aus dem Fahrzeug	200
Ausfahrtskontrolle, Bezahlen eines Pauschalbetrages aus dem Fahrzeug	250
Automatische Barrierenöffnung nach Einwurf eines Jetons oder mit Hilfe einer Schlüsselkarte	400
Ausfahrt ohne Anhalten der Fahrzeuge	700

Für eine **Qualitätsbewertung** vorhandener oder geplanter Einrichtung kann das HBS – Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (FGSV 2001) herangezogen werden. Die Ein- bzw. Ausfahrdauer umfasst die Zeit, die für den Warteschlangenaufenthalt und die Abfertigung benötigt wird. Ein Abfertigungssystem kann hierbei nach dem Kriterium mittlere Einfahrt- bzw. Ausfahrdauer einer Qualitätsstufe A (freier Zufluss ohne Zeitverluste) bis F (Kapazität überschritten, Warteschlange nimmt kontinuierlich zu und wird nicht mehr abgebaut) zugeordnet werden.

Für die in Tabelle 4 aufgeführten Kontrollmedien finden sich im HBS zum einen die Ein- und Ausfahrdauern in Abhängigkeit der Verkehrsstärke und zum anderen die benötigten Aufstellflächen für den Rückstau in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für eine 85%ige bzw. 95%ige statistische Sicherheit gegen Überstauung.

Bei Auslastungen nahe der Kapazitätsgrenze können Störfälle rasch zu Beeinträchtigungen führen. Daher sind die Abfertigungseinrichtungen im Hinblick auf eine Störungssicherheit zu optimieren.

### 5.3 Handlungsempfehlungen

Um das zu verwendende **Kontrollmedium** festzulegen, ist die Art der Nutzer entscheidend. Wird das Parkhaus in der Mehrzahl durch Mietparker genutzt, ist es sinnvoll, diese mit Magnetschlüssel oder Transponderchipkarten auszustatten, da diese die höchste Abfertigungsquote ermöglichen. Weitere Kapazitätssteigerungen sind durch den Einsatz berührungsloser Abfertigungssysteme (vergleichbar den ETC-Systemen an der Mautstation) möglich, wobei durch die geometrischen Randbedingungen nur niedrigere Geschwindigkeiten machbar sind.

Bei einem grösseren Anteil von Gelegenheitsnutzern sind Abfertigungssysteme zu verwenden, die ohne vorherige Vorbereitungen genutzt werden können. Hierbei sind Chipkartentickets, d. h. Kunststoffträger in Form einer Scheckkarte, in denen ein mehrfach beschreibbarer elektronischer Speicherchip und eine Antenne zur kontaktlosen Datenübertragung integriert sind, Magnetstreifen- / Barcodetickets oder Chipcoins aufgrund der hohen damit verbundenen Kapazität zu bevorzugen. Bei nahezu gleichen Anteilen der Nutzergruppen ist ein gemischtes Abfertigungssystem in Erwägung zu ziehen.

Bei einer landesweiten Einführung von Mautsystemen mit ETC-Nutzung ist anzustreben, dass auch die Abfertigung im Parkhaus durch die für ETC nötige Fahrzeugausstattung möglich wird (**einheitliche Systeme**). Gleiches gilt für andere Systeme, die zum Einsatz kommen. Die Einführung eines gemeinsamen Systems für Parkierungseinrichtungen und Road Pricing erhöht die Akzeptanz für notwendige Fahrzeugausstattungen, da dadurch der Nutzen vergrössert wird. Auch die Anzahl der Störungen kann durch die Vertrautheit der Nutzer mit dem System gemindert werden.

Ziel der Überlegungen muss es sein, den **Abfertigungsvorgang** einfach für den Nutzer und zeitsparend zu konzipieren, um so eine der Verkehrsstärke entsprechende Kapazität zu erreichen. Die Anzahl der einzurichtenden Abfertigungsstellen ergibt sich aus dem erwarteten Nutzeraufkommen und der prognostizierten Verteilung auf unterschiedliche Abfertigungsarten und kann ähnlich wie bei Mautstationen bestimmt werden.

Der zur Verfügung gestellte **Raum für Rückstau** an den Abfertigungsstellen muss so ausreichend dimensioniert sein, dass die wartenden Fahrzeuge den Verkehrsfluss im angrenzenden Verkehrsraum nicht beeinflussen. Hierfür können die Ausführungen im HBS (FGSV 2001) verwendet werden.

Bei der Vorgabe einer bestimmten Einschubrichtung sollte das **Ticket** eindeutig gekennzeichnet sein. Die verwendeten Tickets oder Marken sollten robust sein, um Störungen im Ablauf aufgrund von nicht lesbaren Medien zu vermeiden. Weiterhin sollten Informationen z.B. zur Tarifgestaltung, zu den Öffnungszeiten oder zur Bedienung von Automaten verständlich, aktuell und vollständig sein.

Bei der **räumlichen Gestaltung** des Ein- und Ausfahrtbereiches muss auf die richtige Information der Verkehrsteilnehmer und die Wahrung der Verkehrssicherheit trotz der auftretenden Fahrstreifenwechsel und Einfädelungsprozesse geachtet werden. Hier gelten ebenfalls die bei den Mautstationen aufgeführten Überlegungen.

## 6 Mobile Kontrollen

### 6.1 Einleitung

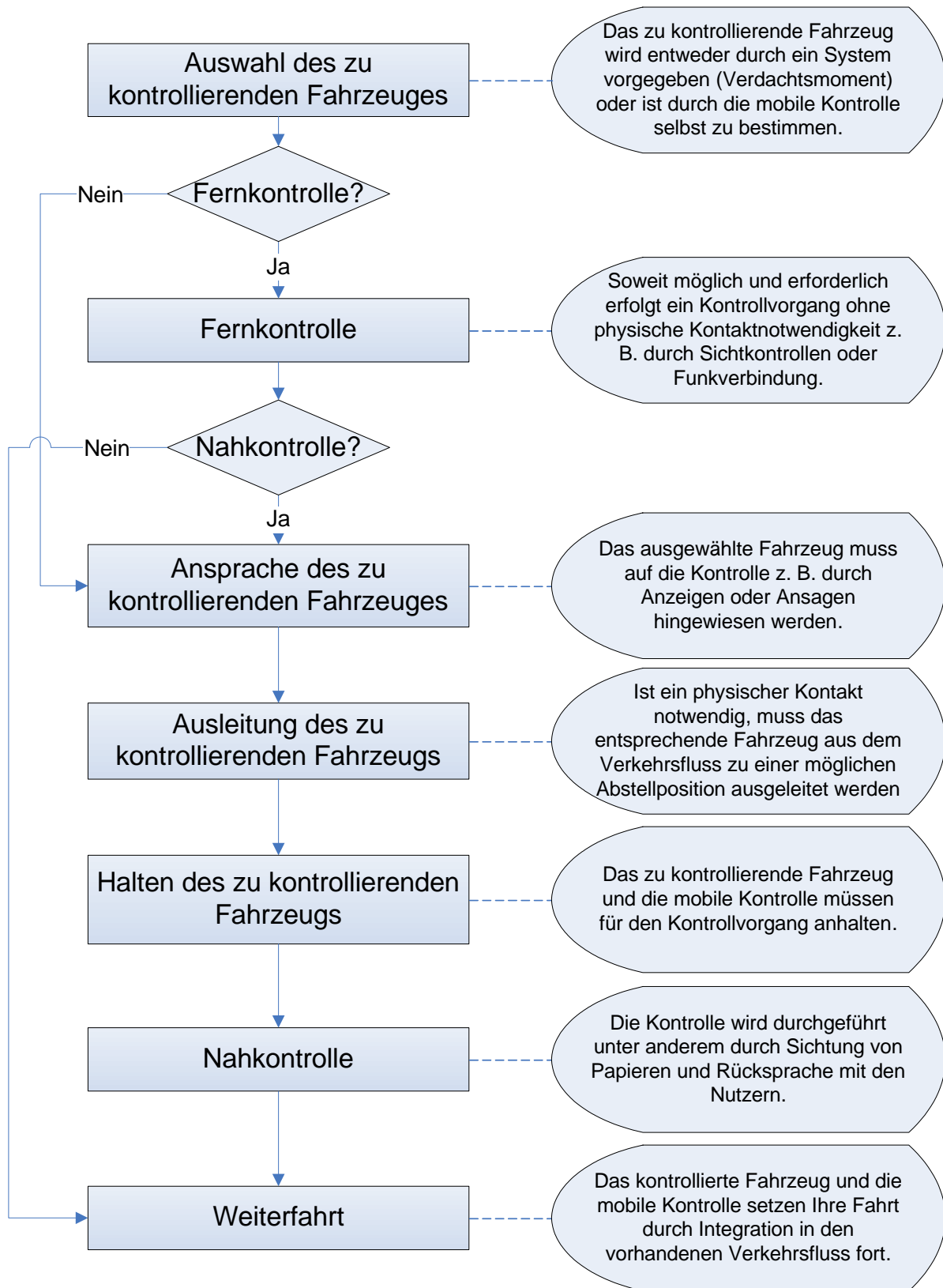
Kontrollen werden bei der Erhebung von Strassenbenutzungsgebühren eingesetzt, um die Korrektheit der Registrierungs- oder Zahlungsvorgänge der Nutzer zu überprüfen. Kontrollen können entweder direkt und vollständig z. B. an einer Mautstation erfolgen oder stichprobenartig manuell oder automatisch an der Mautstation oder auch an anderen Stellen durchgeführt werden.

Vollständige Kontrollen werden z. B. an Mautstationen durchgeführt. Die Kontrolle kann in einen Abfertigungsprozess mit Halt integriert sein. Sie hat dann die gleiche Wirkung wie der Abfertigungsprozess selbst und wird dort (Abschnitt 2.2) behandelt. Elektronische Kontrollen (z. B. Kennzeichenerfassung) haben i. d. R. keinen nennenswerten Einfluss auf den Verkehrsablauf. Stationäre Kontrollen ausserhalb der Mautstation haben keine oder mit den mobilen Kontrollen vergleichbare Wirkungen. Hier wurden deshalb nur mobile Kontrollen betrachtet.

In der Regel sind mobile Kontrollen so gestaltet, dass keine eigene, fest installierte Infrastruktur für sie vorhanden ist, sondern sie unabhängig von stationären Gegebenheiten stattfinden können (Bild 21). Eine Analyse der möglichen mit einer mobilen Kontrolle verbundenen Prozesse zeigt Bild 22. Dabei wird prinzipiell unterteilt in Fernkontrollen und Nahkontrollen.



**Bild 21: Mobile Kontrolle in der Schweiz** (Quelle: EFD 2006)



**Bild 22:** Prozessablauf Mobile Kontrollen

**Fernkontrollen** können im fließenden Verkehr durchgeführt werden und benötigen keinen physischen Kontakt zwischen dem kontrollierten Fahrzeug und der Kontrolleinrichtung. Die Kontrolle erfolgt mittels Datenübertragung und/oder Sichtkontakt. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten:

- ◆ Die benötigten Daten werden durch ein **Kontrollfahrzeug** während einer Parallelfahrt zu dem zu kontrollierenden Fahrzeug mittels DSRC und entsprechendem Erfassungsgerät oder mittels Sichtkontakt abgefragt.
- ◆ Die benötigten Daten werden während der Vorbeifahrt an einem **portablen Erfassungsgerät** am Strassenrand (ähnlich der Geschwindigkeitsüberwachung) oder an Brücken über dem Strassenraum (hierbei können vorhandene Mautabbuchungsstationen genutzt werden) ausgelesen.

Für **Nahkontrollen** ist ein Halten der Fahrzeuge nötig, da hier auch ein physischer Austausch nötig sein kann (z. B. Papiere sichten). Im Prozessablauf ist es sowohl möglich, nach Auswahl des zu kontrollierenden Fahrzeugs direkt einen Haltprozess zu veranlassen und eine Nahkontrolle durchzuführen, als auch zuerst eine Fernkontrolle vorzunehmen. An die Fernkontrolle anschliessen kann die direkte Weiterfahrt der Fahrzeuge oder eine Nahkontrolle. Diese Entscheidung kann vom Ergebnis der Fernkontrolle abhängen.

## 6.2 Wirkungsanalyse und Bewertung

Literatur, die sich mit der Wirkung von mobilen Kontrollen auf den Verkehrsablauf auseinandersetzt, konnte nicht gefunden werden. Daher beruhen die folgenden Aussagen auf Erfahrungswerten von Anwendern mobiler Kontrollen (Eidgenössische Zollverwaltung (CH), ASFINAG Maut Service GmbH (A), Bundesamt für Güterverkehr (D)), die zu diesem Thema befragt wurden.

### **Fernkontrolle durch ein vorbeifahrendes Kontrollfahrzeug**

Bei der Kontrolle durch ein vorbeifahrendes Kontrollfahrzeug erfolgt ein Eingriff in den Verkehrsfluss nur durch die notwendig werdenden **Überholvorgänge** der Kontrollfahrzeuge. Für die eigentliche Sichtkontrolle ist kein Überholvorgang notwendig. Allerdings werden Überholvorgänge zum Erreichen mehrerer Fahrzeuge in kurzen Zeitabschnitten nötig. Während die Überholprozesse bei mehreren Richtungsfahrstreifen in der Regel kein Problem darstellen, kann es bei nur einem Fahrstreifen pro Richtung zu Problemen kommen. Die Überholvorgänge sind dann mit erhöhten Sicherheitsrisiken verbunden bzw. auch nur bedingt möglich.

Diese Art der Kontrolle ist wie die anderen beiden Formen nur möglich, wenn sie sich in das Gesamtsystem der Gebührenerhebung eingliedert. Sie erfordern die **Ausstattung der Fahrzeuge** mit entsprechenden Datenträgern bei einer Kontrolle via DRSC bzw. mit Markierungen, Plaketten, Aufklebern oder sonstigem bei einer Sichtkontrolle.

Unproduktiv wird das System dann, wenn durch eine niedrige Geschwindigkeit des Kontrollfahrzeugs aufgrund von dichtem Verkehr oder allgemeinen Geschwindigkeitsbegrenzungen (wie in der Schweiz vorhanden) die **Anzahl der möglichen Kontrollen** in einem bestimmten Zeitabschnitt gering ist. Eine Nahkontrolle ist gleich im Anschluss durch das Kontrollfahrzeug möglich. Alternativ können die entsprechenden Daten durch das System gespeichert und später ausgewertet werden. Erhöhte Unfallzahlen durch mobile Kontrollen haben sich in den befragten Ländern bisher nicht gezeigt.

### **Fernkontrolle durch ein portables Erfassungsgerät**

Das Auslesen der Daten mit einem **portablen Erfassungsgerät am Strassenrand** wird derzeit z. B. in der Schweiz praktiziert (Bild 21, S. 45). Vorteil dieser Variante gegenüber einem Kontrollfahrzeug ist das Vermeiden der Überholvorgänge. Ein Nachteil ist zum einen die Schwierigkeit, im Anschluss eine Nahkontrolle durchzuführen. Dies ist nur durch den Einsatz weiteren Kontrollpersonals und Einrichtungen (Fahrzeug, Ausleitungsmöglichkeiten) möglich. Zum anderen liegt ein stationärer Kontrollort vor, der die Wirksamkeit der Kontrolle einschränken kann. Schwierig kann der Einsatz an mehrstreifigen Querschnitten sein. Während bei einer Schwerverkehrsabgabe überwiegend der rechte Fahrstreifen genutzt wird, ändern sich die Rahmenbedingungen bei einer Gebührenpflicht für alle Fahrzeugklassen.

Mit Hilfe portabler Kontrolleinrichtungen, die an vorhandene Infrastruktur angeschlossen werden kann, lässt sich die notwendige technische Ausstattung minimieren. Voraussetzung ist das Vorhandensein und die Kompatibilität der Grundausstattungen. Vorteil kann die Möglichkeit der Erfassung über den gesamten Strassenquerschnitt sein. Eine mobile Kontrolle mittels Brücke oder portablen Erfassungsgerät am Strassenrand kann durch DRSC erfolgen oder auf videobasierten Auswertungen beruhen.

### **Nahkontrolle**

Das grösste Problem bei der Nahkontrolle ist das Vorhandensein eines möglichen **Kontrollbereiches**. Dies können z. B. Parkplätze an den Strassen oder unweit der Strassen sein. Die Fahrzeuge müssen für die Kontrolle ausgeleitet werden. Nach der Kontrolle muss gewährleistet sein, dass sich die Fahrzeuge reibungslos wieder in den fließenden Verkehr einordnen können, um Behinderungen im Verkehrsfluss zu vermeiden. In der Praxis nutzen die Kontrolleure ihre Erfahrung, um geeignete Örtlichkeiten auszuwählen.

Ist eine Nahkontrolle nicht möglich, muss eine Speichermöglichkeit für erfasste Unstimmigkeiten gegeben sein, um ihre spätere Verfolgung zu ermöglichen. Bei der LSVA wird dies zurzeit durch die Anzeige des Fahrzeughalters bei inländischen Fahrzeugen oder durch Speicherung im zolleigenen System und Bussgeldeinnahme bei der nächsten Durchfahrt an der Grenze praktiziert.

### **6.3 Handlungsempfehlungen**

Grundsätzlich ist die Durchführung mobiler Kontrollen nach den bisherigen Erfahrungen ohne verkehrstechnische Probleme möglich. Welche Art der mobilen Kontrolle zum Einsatz kommen kann und damit verbunden auch welche Folgerungen sich daraus für den Verkehrsablauf ergeben, ist von den jeweiligen Randbedingungen abhängig.

Im Folgenden sind verschiedene Randbedingungen und die sich aus ihnen ergebenden Möglichkeiten dargestellt. Bei mehreren Möglichkeiten sollten diejenigen gewählt werden, die den geringsten Eingriff in den Verkehrsablauf (z. B. durch Ausleitung der betroffenen Fahrzeuge) erwarten lassen.

#### **Technische Gestaltung des Gebührenerhebungssystems**

Der Einsatz von DRSC-basierten Kontrollsystemen ist nur sinnvoll, wenn die zu kontrollierenden Fahrzeuge zum grössten Teil mit einem entsprechenden System ausgestattet sind. Alternativ können durch das Anbringen von Informationsträgern, die von aussen sichtbar sind, mobile Kontrollen visuell durchgeführt werden. Unabhängig vom Identifikationsmedium können alle oben beschriebenen Möglichkeiten der Fernkontrolle zum Einsatz kommen. Ohne elektronisch oder visuell von aussen lesbare Kennzeichnungen ist eine Fernkontrolle (Kontrolle im fliessenden Verkehr) nicht möglich.

Eine Nahkontrolle ist immer dann sinnvoll, wenn die korrekte Registrierung oder Zahlung durch mitzuführende Unterlagen nachgewiesen werden kann oder aus Fahrzeugparametern hervorgeht. Wenn die korrekte Registrierung oder Zahlung ausschliesslich durch mitzuführende Unterlagen nachgewiesen werden kann, ist nur eine Nahkontrolle möglich.

#### **Anzahl der Fahrstreifen pro Fahrtrichtung**

Wenn nur ein Fahrstreifen pro Richtung zur Verfügung steht, sollten portable Einrichtungen zum Einsatz kommen. Dadurch kann vermieden werden, dass Überholvorgänge nötig werden.

Des Weiteren können mobile Einrichtungen am Strassenrand auch bei mehreren Fahrstreifen je Richtung eingesetzt werden, wenn die zu kontrollierenden Fahrzeuge ausschliesslich oder überwiegend den rechten Fahrstreifen nutzen bzw. wenn die benutzte Technik das Kontrollieren mehrerer Fahrstreifen zulässt. Ansonsten sind bei mehreren zu kontrollierenden Fahrstreifen in einer Richtung Kontrollfahrzeuge und Brücken zu empfehlen. Für Nahkontrollen ist die Anzahl der Fahrstreifen von untergeordneter Bedeutung.

#### **Platzverfügbarkeit**

Nahkontrollen und portable Einrichtungen am Strassenrand sind nur einsetzbar, wenn genügend Platz vorhanden ist. Dieser Platz muss eine für die Kontrolle geeignete Aufstellung der mobilen Infrastruktur ermöglichen.

## 7 Fazit und Ausblick

Die verkehrstechnischen Probleme des Mobility Pricing sind beherrschbar, soweit sie ausreichend bei der Planung berücksichtigt werden. Verkehrstechnisch bedeutsam sind Systeme des Mobility Pricing, die in den Verkehrsablauf eingreifen und nicht nur elektronische Erfassungs- und Zahlungsvorgänge ohne Beeinflussung der Fahrweise erfordern. Da bei den im Rahmen des Gesamtprojekts entwickelten Szenarien in erster Linie im Objektmodell derartige Systeme eingesetzt werden sollen, ist vor allem dieses für die verkehrstechnischen Untersuchungen relevant. Im Objektmodell sind Mautstationen der zentrale verkehrstechnische Untersuchungsgegenstand.

Grundsätzlich lassen sich die verkehrstechnischen Probleme von **Mautstationen** durch einen hohen Anteil von ETC-Nutzern deutlich mindern und durch ausschliessliche ETC-Nutzung nahezu ganz vermeiden.

Planungen in der Schweiz werden durch i. d. R. beengte Platzverhältnisse vor besondere Herausforderungen gestellt. Der vorliegende Bericht gibt Hinweise zur Anzahl der erforderlichen Fahrstreifen in Abhängigkeit von den erzielbaren Kapazitäten für unterschiedliche Zahlungsarten. Diese Kapazitäten sind im Einzelfall zu ermitteln. Sie hängen vom gewählten System und vom Anteil der jeweiligen Nutzer ab.

Darüber hinaus werden Sicherheitsrisiken an Mautstationen aufgezeigt, die durch Verflechtungsvorgänge, unterschiedliche Geschwindigkeiten und andere Aspekte entstehen. Das Fallbeispiel des Verbindungstunnels Vedeggio – Cassarate in Lugano veranschaulicht die Probleme, die im Zusammenhang mit Mautstationen insbesondere bei engen Platzverhältnissen auftreten. Mittels Varianten werden Lösungsmöglichkeiten erläutert.

Aus der Wirkungsanalyse werden Empfehlungen zur Reduktion von Sicherheitsrisiken durch eine geeignete bauliche Gestaltung und eine zweckmässige Information der Verkehrsteilnehmer abgeleitet.

Daneben wurde die Wirksamkeit von **Value Pricing** aus verkehrstechnischer Sicht eingehend untersucht. Es wurde eine Methodik entwickelt, wie Reisezeiten und Abflüsse mit und ohne Value Pricing vergleichend bewertet werden können. Das Ergebnis ist stark vom zugrunde liegenden Datenmaterial (Fundamentaldiagramme) abhängig, und allgemeingültige Aussagen lassen sich nicht treffen. Ein grosser verkehrstechnischer Nutzen ist allerdings kaum zu erwarten. Grundsätzlich sollte Value Pricing nur zum Einsatz kommen, wenn wirkungsvollere Massnahmen nicht realisierbar sind.

Sollen elektronische Mautsysteme (ETC) eingesetzt werden, müssen die Fahrzeuge mit Geräten ausgestattet werden. Ein Verkauf von **Fahrzeuggeräten** an alle Verkehrsteilnehmer an der Grenze erscheint nur bei Verwendung von RFID (Radio Frequency Identification) und Bereitstellung entsprechender Infrastruktur und entsprechenden Personals denkbar.

In knapper Form wurden ausserdem **Parkieranlagen** analysiert. Hierzu finden sich ausführliche Hinweise im Schweizer Normenwerk sowie in deutschen Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Die wichtigsten Erkenntnisse werden in diesem Bericht deshalb nur kurz zusammengefasst.

Durch Verwendung einheitlicher Systeme für verschiedene Formen des Mobility Pricing (Mautstationen, Parkieranlagen etc.) lassen sich vielfältige Synergien erzielen, die sich auch auf den Verkehrsfluss positiv auswirken.

Zu **mobilen Kontrollen** wurden Experten in der Schweiz, in Österreich und in Deutschland befragt. Verkehrstechnische Probleme konnten dabei nicht ermittelt werden. Schwierigkeiten liegen in der technischen Umsetzung von Kontrollen, die bei der Systemauswahl bereits berücksichtigt werden müssen.

Ein umfangreiches Verzeichnis der gesichteten **Quellen** ist dem Bericht angehängt. Detaillierte Erläuterungen der Untersuchungsgegenstände und der Vorgehensweise finden sich im Anhang dieses Berichts.

## Bilder

Bild 1:	Projektablauf und Arbeitspakete.....	2
Bild 2:	Prozessablauf Mautstation .....	6
Bild 3:	Unfälle im Einfahrbereich von Mautstationen und ETC-Anteil .....	7
Bild 4:	Kapazität von Mischfahrstreifen für Bar- und Kartenzahlung .....	9
Bild 5:	Mittlere Wartezeit und Staulänge an zwei Fahrstreifen.....	10
Bild 6:	Anzahl benötigter Fahrstreifen in Abhängigkeit vom Anteil der ETC- Nutzer und der Verkehrsstärke.....	11
Bild 7:	Ursachen für Schrankenollisionen an ETC-Fahrstreifen .....	12
Bild 8:	Unfälle im Ausfahrbereich von Mautstationen und ETC-Anteil in Tokyo .....	13
Bild 9:	Mautstationsentwurf Verbindungstunnel Vedeggio-Cassarate.....	15
Bild 10:	Prozessablauf Value-Fahrstreifen .....	21
Bild 11:	Skizze der "0"-Variante .....	25
Bild 12:	Skizze der "Value"-Variante .....	25
Bild 13:	Methodik des Vergleichs von Reisezeiten mit und ohne Value Pricing .....	26
Bild 14:	Reisezeitenvergleich unter Berücksichtigung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten.....	27
Bild 15:	Gesamtreisezeiten für eine fiktive Tagesganglinie.....	28
Bild 16:	Erwartungswerte der Reisezeiten und Auslastungsgrade mit $SV = 8 \%$ und $v_{max}=100 \text{ km/h}$ (Ansatz nach Bernard, Axhausen 2006) .....	30
Bild 17:	Methodik des Vergleichs von wahrscheinlichen Abflüssen mit und ohne Value Pricing.....	31
Bild 18:	Vergleich wahrscheinlicher Abflüsse in Abhängigkeit der Verkehrsnachfrage.....	32
Bild 19:	Zusammenbruchswahrscheinlichkeit auf der Hauptfahrbahn in Abhängigkeit von der Auslastung des Value-Fahrstreifens.....	33
Bild 20:	Prozessablauf zur Abfertigung an einer Parkierungsanlage .....	39

Bild 21: Mobile Kontrolle in der Schweiz .....45

Bild 22: Prozessablauf Mobile Kontrollen .....46

## **Tabellen**

Tabelle 1: Kapazität von Mautstationen .....	8
Tabelle 2: Mittlere Einbauzeiten von Fahrzeuggeräten für ETC .....	36
Tabelle 3: Anzahl der benötigten Abfertigungsstellen zum Einbau von RFID-Tags.....	37
Tabelle 4: Abfertigungszeiten und Kapazitäten an Abfertigungseinrichtungen .....	42
Tabelle 5: Mittlere Leistungsfähigkeit der Abfertigungselemente .....	42

## Literatur

AL-DEEK, H.; MOHAMED, A. A.; RADWAN, A. E. (1997)

Operational Benefits of Electronic Toll Collection: Case Study, in: Journal of Transportation Research November/December, S. 467-477

AL-DEEK, HAITHAM; KLODZINSKI, JACK (2001)

Simulation and Evaluation of the Orlando-Orange County Expressway Authority (OOCEA) Electronic Toll Collection Plazas using TPSIM, Phase II

[http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed\\_Proj/Summary\\_PL/BC096\\_11\\_rpt.pdf](http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed_Proj/Summary_PL/BC096_11_rpt.pdf)

ARING, JÜRGEN (1993)

Der Mautring - eine Zwischenbilanz, in: Internationales Verkehrswesen 45, S. 411 - 413

ATLANTA VALUE PRICING ADVISORY TASK FORCE (HRSG.) (2003)

Paying the Price for Congestion. Recommendations Regarding the Impact and Feasibility of Implementing Value Pricing Transportation Options in Greater Atlanta, Atlanta

[http://www.hhh.umn.edu/centers/slp/projects/conpric/atlanta\\_report.pdf](http://www.hhh.umn.edu/centers/slp/projects/conpric/atlanta_report.pdf), 14.03.2006

BAKER, JO (2002)

Implementing Urban Road Pricing - Achievement and Barriers, Third seminar of the IMPRINT-EUROPE Thematic Network: "Implementing Reform on Transport Pricing: Constraints and solutions: learning from best practice", Brüssel

BALMER, UELI (2003)

Practice and Experience with Implementing Transport Pricing Reform in heavy goods transport in Switzerland, 4<sup>th</sup> Seminar of the IMPRINT-EUROPE Thematic Network, Brüssel

[http://www.imprint-eu.org/public/Papers/IMPRINT4\\_balmer.pdf](http://www.imprint-eu.org/public/Papers/IMPRINT4_balmer.pdf)

BARKER, RON (1999)

Industry Initiative to Introduce Automatic Tolling in Vehicles in Europe. Functional Specifications, o.O.

[ftp://ftp.cordis.lu/pub/telematics/docs/tap\\_transport/initiative\\_d4.1.pdf](ftp://ftp.cordis.lu/pub/telematics/docs/tap_transport/initiative_d4.1.pdf)

BERNARD, MICHAEL; AXHAUSEN, KAI W. (2006)

Entwicklung eines Entscheidungsverfahrens zur Bemessung von Verkehrsanlagen; Grundlagen für eine grundlegende Neukonzeption der SN 640 016a "Massgebender Verkehr"; Zürich, Stand Dezember 2006 (noch unveröffentlicht)

BISCHOFBERGER, NIKOLAUS ET AL. (2005)

Rampenbewirtschaftung am Zürcher Nordring, in: strasse und verkehr 12, S. 30-35

BLYTHE, P.T. (2005)

Congestion charging: Technical options for the delivery of future UK policy, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice Vol: 39 No.7-9, S. 571 - 587

BONSALL, P. W.; PALMER, I. A. (1997)

Do time-based road -user charges induce risk-taking? - Results from a driving simulator, in: traffic engineering and control 38, S. 200 - 208

BOURNE, BRIAN; CAMOLINO, RUI DIAS; GIORGI, PAOLO; GRUBER, ERHARD; LIECHTI, MARKUS; Muhammad, Mustafa; Oehry, Bernhard; Vithen, Charlotte (1999)

ADVICE - Experience with classification and enforcement systems, Brüssel

[http://www.cordis.lu/telematics/tap\\_transport/library/advice\\_d3-1.html](http://www.cordis.lu/telematics/tap_transport/library/advice_d3-1.html)

BRILON, WERNER, ZURLINDEN, HENDRIK (2004)

Kapazität von Strassen als Zufallsgrösse, in: Strassenverkehrstechnik 4, S.164 - 172

BRILON, WERNER, ZURLINDEN, HENDRIK (HRSG.) (2003)

Überlastungswahrscheinlichkeiten und Verkehrsleistung als Bemessungskriterium für Strassenverkehrsanlagen, Bonn

BRÜLL, ALFRED (1986)

Umwelt/Flächennutzung/Verkehr Bewertungen in der städtischen Verkehrsplanung, Bonn-Bad Godesberg

BURRIS, MARK W.; HILDEBRAND, ERIC D. (1996)

Using Microsimulation to Quantify the Impact of Electronic Toll Collection, in: ITE Journal 7, S. 21-24

COSENTINO, MICK (2005)

Looking for recognition. Road pricing using ANPR, in: Traffic Technology International Aug/Sept, S. 68-69

COVIL, J. L.; MARTIN, P. C.; REGAN, E. J. (1991)

New Highway uses for AVI systems, in: Journal of Transportation Engineering 6, S. 697 - 703

CRAWFORD, DAVID (2006)

Do the Transport Innovation Fund awards point the way forward? Seven areas of England are now sharing GBP 7 million of development money to help them explore what the Government hopes will prove to be a range of innovative local approaches to the problem of congestion, in: traffic engineering and control January, S. 9-12

DE PALMA, ANDRE; KILANI, MOEZ; LINDSEY, ROBIN (2005)

Congestion pricing on a road network: A study using the dynamic equilibrium simulator METROPOLIS, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice 39, S. 588-611

DEBELL, CAROL (2006)

IEE seminar presents a more global perspective. As the DIRECTS project comes to the end of its one-year demonstration, in London and in other parts of Europe people are busy putting the RUC theory into practice. What just a few years ago would have seemed like groundbreaking technology is now beginning to look almost routine, in: traffic engineering and control February, S. 46-48

DODOO, NII AMOO; THORPE, NEIL (2005)

A new approach for allocation pavement damage between heavy goods vehicles for road-user charging, in: Transport Policy 12, S. 419-430

ECKERT, ROLAND (1995)

Cordon-Pricing in Ballungsräumen. Der MobilPASS-Feldversuch in Stuttgart, in: Strassenverkehrstechnik 12, S. 565-570

EIDGENÖSSISCHES FINANZDEPARTMENT, EIDGENÖSSISCHE ZOLLVERWALTUNG

LSVA. Mobile Kontrollen, MobKo. Präsentation vom 9. Oktober 2006

ENGLAND, TERI (2006)

Tolling - back to basics, in: traffic engineering and control February, S. 53-55

EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT (HRSG.) (1999)

Richtlinie 1999/62/EG vom 17. Juni 1999. Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge, Brüssel

[http://europa.eu.int/eur-lex/pri/de/oj/dat/1999/l\\_187/l\\_18719990720de00420050.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/de/oj/dat/1999/l_187/l_18719990720de00420050.pdf)

EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT (HRSG.) (2004)

Richtlinie 2004/52/EG vom 29. April 2004. Interoperabilität elektronischer Mautsysteme in der Gemeinschaft, Brüssel

[http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2004/l\\_166/l\\_16620040430en01240143.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2004/l_166/l_16620040430en01240143.pdf)

EUROTRANS CONSULTING LTD., (PROJECT COORDINATION) (HRSG.) (2000)

TransPrice. Final Summary Report, o.O.

FISCHER, LARS; BRANNOLTE, ULRICH, BAST (HRSG.) (2006)

Sicherheitsbewertung von Massnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen, Bergisch Gladbach

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (HRSG.) (1997)

Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Strassen (EWS). Aktualisierung der RAS-W 86, Bonn

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (HRSG.) (1998)

Hinweise zum Einsatz bargeldloser Zahlungsmittel beim Parken, Köln

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (HRSG.) (2001)  
Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS), Köln

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (HRSG.) (2005)  
Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR 05), Köln

FRÖHLICH, PH.; KERN, P.; DITTRICH, T. (2006)  
Definition der Szenarien; Forschungspaket Mobility Pricing B2 (SVI 2005/005), Zürich,  
Zollikon; Stand August 2006 (internes Arbeitspapier)

GERLACH, JÜRGEN; HEINIG, ACHIM (2002)  
Leistungsfähigkeit von Abfertigungssystemen an Anlagen des ruhenden Verkehrs, in:  
Strassenverkehrstechnik 5, S. 229ff  
<http://www.svpt.de/Publikationen/Leistungsfaehigkeit.pdf>

GULEWICZ, VICTOR; DANKO, JOHN (1995)  
Simulation - Based Approach to evaluating optimal lane staffing requirements for Toll Plazas,  
in: Transportation Research Record 1484, S. 33 - 39

HALBRITTER, GÜNTER ET AL. (2004)  
Monitoring internationaler Erfahrungen im Bereich der Verkehrstelematik, Karlsruhe

HARTZ, BIRGIT; SCHMIDT, MARCO, BMVBW (HRSG.) (2005)  
Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta), Bergisch Gladbach

HENSHER, DAVID A.; PUCKETT, SEAN M. (2005)  
Road user charging: The global relevance of recent developments in the United Kingdom, in:  
Transport Policy 12, S. 377-383

HESSISCHES LANDESAMT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (2001)  
Verknüpfung von Strategien, Massnahmen und Systemen des regionalen und städtischen  
Verkehrsmanagements. Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Verkehr, Bau-  
und Wohnungswesen (Forschungsprogramm Stadtverkehr) unter der Projekträgerschaft des  
Hessischen Landesamts für Strassen- und Verkehrswesen

HOEPFEL, STEFAN (2005)  
Sky high prices. As Europe ponders the future of its collective road revenue generating  
operations, discussions continue about what technology is best suited to do the job. Will  
DSRC or satellite-based prevail?, in: Traffic Technology International Aug/Sept, S. 62-67

HONDA, KOKI; WATANABE, OSAMU; KIMURA, KENJI (2003)  
Practical Use of ETC Systems applying for "Short-trip Toll Discount" and "Transfer Toll  
Discount"

IEROMONACHOU, PETROS (2006)

Urban road pricing - what lessons can we learn from the Italians?, in: traffic engineering and control 47 (Nr.4), S. 128-132

INFRAS

Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA)

Umweltbundesamt (D), Umweltbundesamt (AU), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (CH); Berlin, Bern, Wien, 2004.

NAKAMURA, HIDEKI; OGUCHI, TAKASHI (Hrsg.)(2006)

Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Volume 1 - Country Reports and Special Session Papers. Volume 2 - Technical Papers. Tokyo: Japan Society of Traffic Engineers (JSTE), 2006.

KEUCHEL, STEPHAN (1992)

Internationale Erfahrungen mit Strassenbenutzungsgebühren im Stadtverkehr, in: Internationales Verkehrswesen 44, S. 377 - 386

KEUCHEL, STEPHAN; RODI, HANSJÖRG (1994)

Erhebung von Strassenbenutzungsgebühren. Beispiel Norwegen, in: Internationales Verkehrswesen 46, S. 203 - 213

KLODZINSKI, JACK; AL - DEEK, HAITHAM (2002)

Proposed Level-of-Service Methodology for Toll Plazas, in: Transportation Research Record 1802, S. 86 - 96

KLODZINSKI, JACK (2001)

Transferability of a Stochastic Toll Plaza Computer Model, Simulation Models Conference, Tucson, AZ

[http://www.catss.ucf.edu/jack2/PDF\\_files/TPSIM\\_Transferability\\_Tucson\\_Conf.pdf](http://www.catss.ucf.edu/jack2/PDF_files/TPSIM_Transferability_Tucson_Conf.pdf)

KOBAYASHI, KIYOSHI; DO, MYUNDSIK (2005)

The informational impacts of congestion tolls upon route traffic demands, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice 39, S. 651 - 670

LAWSON, JON (2005)

Fully charged. The Congestion Charging scheme in London has divided opinion across the city. Despite local business groups grumbling about reduced trade, the Charge zone is set to expand - and the technology behind it is about to get really interesting, in: Traffic Technology International December, S. 56-58

LEVINSON, DAVID; CHANG, ELVA (2003)

A model for optimizing electronic toll collection systems, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice 37, S. 293 - 314

LIBBRECHT, ROBERT (1999)

CODE. Area Report - Automatic Debiting and Toll Collection, Brüssel

LOBO, LEON (2005)

The eye has it. Vehicle Occupancy Ltd's Cyclops system solves the HOV/HOT lane enforcement problem, in: ITS International Sep/Oct, S. 58-59

LO, HONG K.; SZETO, W. Y. (2005)

Road pricing modelling for hyper-congestion, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice 39, S. 705 - 722

MARTIN, JENNIE (2006A)

Stockholm ready to implement road user charging trial on Jan 3. Stockholm will trial its RUC system for seven months and then give residents the opportunity to vote in a referendum., in: traffic engineering and control January, S. 15-17

MARTIN, JENNIE (2006B)

Update from the Stockholm Road User Charging scheme, in: traffic engineering and control February, S. 49-50

MCDONALD JR., DAVID R.; STAMMER JR., ROBERT E. (2001)

Contribution to the development of guidelines for toll plaza design, in: Journal of Transportation Engineering 127, S. 215 - 222

MOHAMED, A. A.; ATY, M. A.; KLODZINSKI, J. G. (2000)

Safety Considerations in Designing Electronic Toll Plazas: Case Study  
[http://catss.ucf.edu/jack2/PDF\\_files/ITE\\_Toll\\_Plaza\\_Safety.pdf](http://catss.ucf.edu/jack2/PDF_files/ITE_Toll_Plaza_Safety.pdf)

MORTON, T. W.; LAM, W. K. (1994)

The effect of Automatic Vehicle Identification on toll capacity at the Dartford River Crossing, in: traffic engineering and control 35, S. 298 – 303  
<http://www.dartfordrivercrossing.co.uk/dart-tag/>

Mühlethaler, Franz (2007)

Systemtechnische und betriebswirtschaftliche Aspekte des Mobility Pricing, Forschungspaket Mobility Pricing C1 (VSS 2005/914), Bern (Auskunft per E-Mail vom 12.1.2007)

MÜHLETHALER, FRANZ ET AL. (1999)

Industry Initiative To Introduce Automatic Tolling In Vehicles in Europe. User Requirements, Bern  
[ftp://ftp.cordis.lu/pub/telematics/docs/tap\\_transport/initiative\\_d4.1.pdf](ftp://ftp.cordis.lu/pub/telematics/docs/tap_transport/initiative_d4.1.pdf)

MUHAMMAD, MUSTAFA ET AL. (1999)

ADVICE - Requirements for classification and enforcement, Brüssel  
[http://www.cordis.lu/telematics/tap\\_transport/library/advice\\_d4-1.html](http://www.cordis.lu/telematics/tap_transport/library/advice_d4-1.html)

MURAMATSU, EIJI ET AL. (2006)

A study on traffic capacity at the ETC lane on the expressway tollgate, in: Nakamura/Oguchi 2006, Tokyo

MUN, SE-IL; KONISHI, KO-JI; YOSHIKAWA, KAZUHIRO (2005)

Optimal cordon pricing in a non-monocentric city, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice 39, S. 723-736

MURRAY, ALASTAIR (2005)

Charge account. Delivery under the spotlight, in: Traffic Technology International Aug/Sept, S. 70-73

N., N. (2001)

Operational and Traffic Benefits of E-ZPass to the New Jersey Turnpike

[www.state.nj.us/turnpike/execsum.pdf](http://www.state.nj.us/turnpike/execsum.pdf)

NAGELE (2006)

Gesprächsnotiz. Telefonat am 20.6.06, ASFINAG

NAKAMURA, HIDEKI (2006)

Schriftliches Interview, Nagoya University

NAKAMURA, HIDEKI; OGUCHI, TAKASHI (2006)

An overview on capacity and quality of service studies in Japan, in: JSTE (Hrsg.), Volume 1 Country Reports and Special Session Papers, Tokyo, S. 87-104

NELSON, LEE J (2005A)

License and registration. Part II, in: Traffic Technology International Dec05/Jan06, S. 46-49

NELSON, LEE J (2005B)

Open road tolling, in: Traffic Technology International Aug/Sept, S. 58-60

NOMURA, HIROYUKI ET AL. (2004)

ETC Night Discount Service on the Metropolitan Expressway

OEHRY, BERNHARD ET AL. (2002)

The CARDME Concept. Project IST-1999-29053, Deliverable 4.1 (Final), Basel

<http://www.uv.es/fsoriano/docus/cardme.pdf>

OLSZEWSKI, PIOTR; XIE, LITIAN (2005)

Modelling the effects of road pricing on traffic in Singapore, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice 39, S. 755 - 772

PENCHINA, CLAUDE M. (2004)

Minimal-revenue congestion pricing: some more good-news and bad-news, in:  
Transportation Research Part B 38, S. 559-570

PERRET, KEN ET AL. (2000)

CARDME Support. Deliverable 3.3. Specification of an interoperable European EFC Service,  
Crowthorne (UK)

[ftp://ftp.cordis.lu/pub/telematics/docs/tap\\_transport/cardme\\_d3.3.pdf](ftp://ftp.cordis.lu/pub/telematics/docs/tap_transport/cardme_d3.3.pdf)

PERRET, KEN; WEDLOCK, MARK; GRONER, CHARLOTTE VITHEN (1999)

ADVICE - Final Validation Plan, Brüssel

[http://www.cordis.lu/telematics/tap\\_transport/library/advice\\_d9-2.html](http://www.cordis.lu/telematics/tap_transport/library/advice_d9-2.html)

PERRETT, KEN (2005)

Achieving Euro-interoperability, in: ITS International July/August, S. 43-44

PIETRZYK, MICHAEL C.; MIERZEJEWSKI, EDWARD A. (1993)

Electronic Toll and Traffic Management (ETTM) Systems. National Cooperative Highway  
Research Program; Synthesis of Highway Practice 194

[http://www.itsdocs.fhwa.dot.gov//JPODOCS/REPTS\\_TE/5KN01!.PDF](http://www.itsdocs.fhwa.dot.gov//JPODOCS/REPTS_TE/5KN01!.PDF)

POLUS, ABISHAI (1996)

Methodology and simulation for toll plaza analysis, in: Road & Transportation Research Vol.5  
Nr.1, S. 44-56

POLUS, ABISHAI (1998)

Dynamic equilibrium and concepts of toll-plaza planning, in: traffic engineering and control  
39, S. 230-233

RADWAN, ESSAM; ZARRILLO, MARGUERITE L.; RAMASAMY, SHANKAR (2002)

TNCC Validation and Enhancement. Final Report, Florida Department of Transportation

REGLER, MATTHIAS (2004)

Verkehrsablauf und Kapazität. Bochum, 2004.

ROMMERSKIRCHEN, STEFAN ET AL.

BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG (HRSG.) (2006)

Perspektiven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030, Bern

<http://www.are.admin.ch/imperia/md/content/are/are2/publikationen/deutsch/197.pdf?PHPSESSID=61afb7ddb0ea9fdb8ca1138a3af5fb>

SACRAMENTO AREA COUNCIL OF GOVERNMENTS (HRSG.) (O.J.):

Highway Lane and Pricing Tolls. (draft), o.O.

<http://www.sacog.org/mtp/pdf/MTP2030/Issue%20Papers/Lane%20Pricing.pdf>

SAHIN, ISMAIL; AKYILDIZ, GÜZİN (2005)

Bosporus Bridge Toll Plaza in Istanbul, Turkey. Upstream and Downstream Traffic Features, in: Transportation Research Record 1910, S. 99-107

SAKA, ANTHONY A. ET AL. (2001)

Estimation of Mobile Emissions Reduction from Using Electronic Tolls, in: Journal of Transportation Engineering July/August, S. 327-333

SAKA, ANTHONY ; AGBOH, DENNIS (2002)

Assessment of the Impact of Electronic Toll Collection on Mobile Emissions in the Baltimore Metropolitan Area. <http://www.itsbenefits.its.dot.gov/its/benecost.nsf>; 31.5.2006

SANTOS, GEORGINA; ROJEY, LAURENT; NEWBERY, DAVID (2001)

Congestion Management with Tags or Smart Cards, Cambridge  
[www.geog.ox.ac.uk/staff/gsantos-files/ite2.pdf](http://www.geog.ox.ac.uk/staff/gsantos-files/ite2.pdf); 23.3.2006

SCHAUFLER, ALBERT E. (1997)

Toll Plaza Design, Washington

SCHWEIZERISCHE NORMEN-VEREINIGUNG (HRSG.) (2000)

SN ENV ISO 14816. Dokument der Schweizerischen Normen-Vereinigung, Telematik für den Strassenverkehr und Transport - Automatische Identifikation von Fahrzeugen und Geräten - Nummerierungs- und Daten-Strukturen (ISO/TR 14816:2000). Ausgabe:2000-06, o.O.

SCHWEIZERISCHE NORMEN-VEREINIGUNG (HRSG.) (2005)

SN EN ISO 14906. Strassenverkehrstelematik - Elektronische Gebührenerfassung (EFC) - Anforderungen an die EFC-Schnittstelle für Fahrzeug-Baken-Kommunikation (ISO 14906:2004). Ausgabe:2005-05, o.O.

SPACEK, P. ET AL.(2005)

Baustellen an Hochleistungsstrassen. Verkehrstechnische Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Verkehrsflusses

STAINFORTH, ROGER (2005)

Sign language. VMS installation is not a subject to be approached lightly. Careful selection is required to get the right coverage without wasting resources, in: Traffic Technology International December, S. 110-113

STAPPERT, KARL-HEINZ ET AL. (1998)

CARDME Support. DELIVERABLE 3.2. FUNCTIONAL SPECIFICATION FOR INTEROPERABLE EFC, Köln

[ftp://ftp.cordis.lu/pub/telematics/docs/tap\\_transport/cardme\\_d3.2.pdf](ftp://ftp.cordis.lu/pub/telematics/docs/tap_transport/cardme_d3.2.pdf)

STAUDINGER, MAX (2005)

Flexible trend. After a rocky start, Toll Collect is up and running. At the heart of the system is the OBU - this is how it works, in: Traffic Technology International December, S. 125-126

STEINEMANN, URS; ZUMSTEG, FRANZ (2006)

Verkehrs- und Schadstoffmessungen 2002 im Gubristtunnel. Update Mai 2006, Wollerau, Lenzburg

STEININGER, KARL ET AL. (2005)

Technologien und Wirkungen von Pkw-Road-Pricing im Vergleich, Graz

SUMALEE, AGACHAI; MAY, TONY; SHEPHERD, SIMON (2005)

Comparison of judgmental and optimal road pricing cordons, in: Transport Policy 12, S. 384ff

SUTTER, DANIEL ET AL. (2006)

Road Pricing Modelle auf Autobahnen und in Stadtregionen. Schlussbericht SVI-Forschungsprojekt 2001/523, Zürich, Basel  
[http://www.infras.ch/pdf/svi-roadpricing-sb\\_final.pdf](http://www.infras.ch/pdf/svi-roadpricing-sb_final.pdf)

THOMPSON, TONY (1990)

Road Use Charging - the current state of technology, in: traffic engineering and control 31, S. 526-532

TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS (2005)

AIMSUN NG. Mikroskopisches Verkehrsmodell

UNIVERSITY OF NEWCASTLE (UK) ET AL. (HRSG.)(1999)

ADVICE - Technical Developments within ADVICE, Brüssel  
[http://www.cordis.lu/telematics/tap\\_transport/library/advice\\_d8-1.html](http://www.cordis.lu/telematics/tap_transport/library/advice_d8-1.html)

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (HRSG.) (2003)  
A Guide for Hot Lane Development.

[http://www.itsdocs.fhwa.dot.gov/jpodocs/repts\\_te/13668.html](http://www.itsdocs.fhwa.dot.gov/jpodocs/repts_te/13668.html)

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (HRSG.) (2006)  
State of the Practice and Recommendations in Traffic Control Strategies at Toll Plazas.

<http://mutcd.fhwa.dot.gov/rpt/tcstoll/index.htm>

WIECK, MICHAEL (2005)

Sound concept. The GPS-based tolling pilot in Puget Sound, Washington State, USA is now collecting live data, in: ITS International November/December, S. 43-44

WONG, WALTER K. I.; NOLAND, ROBERT B.; BELL, MICHAEL G. H. (2005)

The theory and practice of congestion charging, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice 39, S. 567-570

YOSHIDA, TADASHI ET AL. (2000)

Development of Transportation Simulation System "REST" and its Application to ETC Interchange Planning

ZACKOR, HEINZ; KÜHNE (1986)

Untersuchungen des Verkehrsablaufs im Bereich der Leistungsfähigkeit und bei instabilem Fluss, Bonn

ZHANG, XIAONING; YANG, HAI (2004)

The optimal cordon-based network congestion pricing problem, in: Transportation Research Part B 38, S. 517-537