

Leistungsfähigkeit von Abfertigungssystemen an Anlagen des ruhenden Verkehrs

Jürgen Gerlach und Achim Heinig

1. Einleitung

Mit der zunehmenden Bewirtschaftung des Stellplatzangebotes mittels zufahrtkontrollierten Ein- und Ausfahrten wurden und werden unterschiedliche Abfertigungssysteme von Anlagen des ruhenden Verkehrs entwickelt. Diese Entwicklungen sind noch nicht abgeschlossen und werden aller Voraussicht nach in naher Zukunft durch den verstärkten Einsatz bargeldloser Abfertigungsmedien und berührungsloser Kontrollmodi geprägt werden.

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens (FE 77.421/1998 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen) sind Abfertigungssysteme an zufahrtkontrollierten Ein- und Ausfahrten an Anlagen des ruhenden Verkehrs untersucht worden. Die wesentlichen Inhalte sind im Einzelnen:

- Systematisierung vorhandener und - soweit absehbar - zukünftiger Systeme
- Beschreibung des Verkehrsablaufs,
- Definition von Qualitätskriterien in Hinblick auf Stau und Wartezeit und
- Entwicklung von Bemessungshinweisen.

Untersuchungen zu diesen Inhalten sind im deutschsprachigem Raum letztmalig durch DUNKER im Jahr 1971 gemacht worden [1]. Anhaltswerte zu Leistungsfähigkeiten von Abfertigungsanlagen lassen sich in der EAR 91 [2] finden. Darüber hinaus gibt es in vielen Fachgebieten jenseits der Straßenverkehrstechnik Betrachtungen zu Warteschlangen, Warteschlangentheorien und artverwandten Vorgängen, die sich allerdings nur sehr bedingt oder gar nicht auf den Verkehrsablauf transformieren lassen.

2. Beschreibung von Abfertigungssystemen

Als Abfertigungsanlage bezeichnet man Geräte und Gerätekombinationen aus Ticketgeber oder -leser und einer Ein- oder Ausfahrtschranke, die dazu dienen, Ein- und Ausfahrten an Anlagen des ruhenden Verkehrs zu kontrollieren. Alternativ wird z.B. bei Großveranstaltungen auch Personal zur Kontrolle und meist pauschalen Parkentgelterhebung an den Zufahrten eingesetzt. Die meisten Anlagen stehen Kurz- und Mietparkern zur Verfügung.

Die Ein- und Ausfahrtkontrolle findet meist vor dem Hintergrund der Parkentgelterhebung statt. Einfahrende Kurzparker müssen i.d.R. ein Ticketmedium - meist nach entsprechender Anforderung über einen Druckknopf - entgegennehmen. Bei der Ausfahrt aus der Anlage ist das vorher an einem Kassenautomaten bezahlte und entwertete Ticket in das Ausfahrtkontrollgerät einzuschieben, -zuwerfen oder -zustecken. Mit der zu-

nehmenden Verbreitung von bargeldlosen Zahlungsmedien sind darüber hinaus heute schon an vielen Parkieranlagen Abfertigungsvorgänge mit bargeldlosen Zahlungsmedien möglich. Dabei wird das bargeldlose Medium - z.B. eine ec-Karte, die GeldKarte oder eine stadt-bezogene Guthabekarte - als Ticketersatz genutzt. Beim Einfahren in die Parkieranlage steckt der Nutzer sein Zahlungsmedium in das Einfahrtkontrollgerät, welches die auf dem Medium abgelegten Daten erfasst. Die Ausfahrt wird nur dann freigegeben, wenn der Nutzer das gleiche Medium in das Ausfahrtkontrollgerät einführt und dem Parkhausbetreiber ermöglicht, das aus gespeicherter Einfahrtzeit und Ausfahrtzeit berechnete Nutzungsentgelt entsprechend dem verwendeten Zahlungsmedium einzuziehen bzw. von der Guthabekarte abzubuchen. Somit unterscheidet man heute für die Abwicklung von Kurzparkern:

- a) Systeme mit Ticketausgabe und
- b) Systeme mit Ticketersatz durch bargeldlose Zahlungsmedien.

Die Abfertigung mittels Magnetstreifenticket oder Barcodeticket gehört gegenwärtig zu den gängigsten Abfertigungssystemen. Während bei dem Barcodeticket die relevanten Daten in schriftlicher und codierter Form (Strichcode) auf die Karte gedruckt werden, ist das Magnetstreifenticket für die Datenverarbeitung zusätzlich mit einem Magnetstreifen versehen. Magnetstreifentickets liegen als Mittelstreifen- oder Seitenstreifenkarten vor. Die Seitenlagentechnik wurde für Kontrolllesegeräte entwickelt, die optional auch Kredit-/Debitkarten verarbeiten können. Dies ist bei der Mittellagetechnik nicht möglich.

Als alternative Kontrollmedien werden ein Parkchip, auch Chipcoin genannt oder ein Chipkartenticket ausgegeben, auf dem Datum und Uhrzeit der Einfahrt initialisiert werden. Parkchips/Chipcoins und Chipkartentickets sind mehrfach beschreibbar und somit wieder verwendbare Parkberechtigungsmedien. Beide Kontrollmedien unterscheiden sich im wesentlichen durch ihre Form und der dadurch bedingten Handhabung. Parkchips/Chipcoins bestehen aus einem Kunststoffträger in Form einer Münze, in dem ein elektronischer Speicherchip und eine Antenne zur kontaktlosen Datenübertragung integriert sind. Das Chipkartenticket besteht ebenfalls aus einem Kunststoffmaterial und hat die Form einer Scheckkarte.

Für Mietparker stehen Systeme zur Verfügung, die über ein vorher ausgegebenes Kontrollmedium die Ein- und Ausfahrt ermöglichen. Die Kontrollmedien unterscheiden sich in ihrer Handhabung zu den »Einmal-Medien« für Kurzparker dadurch, dass sie häufig genutzt werden und somit z.B. einfache Papierträger nicht in Frage kommen. In der Praxis eingesetzte Identifizierungsmedien bestehen aus Mietparkerkarten und Magnet-schlüsseln, auf denen die Kundendaten und damit die Zufahrtberechtigung abgelegt sind. Alternativ erwirbt oder mietet der Stellplatznutzer beim Betreiber eine auf seine Parkbedürfnisse zugeschnittene Chipkarte, die eine berührungslose Identifizierung ermöglicht. Hier gibt es Systeme, die mit geöffnetem oder geschlossenem Seitenfenster agieren. Für die Kontrolle mit geschlossenem Seitenfenster müssen aktive Chipkarten oder chipkartenähnliche Sendegeräte eingesetzt werden. Diese besitzen eine eigenständige Energieversorgung und haben eine Reichweite von bis zu 1 m. Durch die mögliche Distanz zwischen Gerät und Fahrzeug ist eine Abfertigung nahezu ohne Halten des abzufertigenden Fahrzeuges möglich.

Der Sicherheit gegenüber Fahrzeugdiebstählen und vor betrügerischen Machenschaften an Langzeitparkhäuser dienen Systeme mit Videoerfassung und -registrierung des Kfz-Kennzeichens durch das Einfahrt- und Ausfahrtkontrollgerät. Nach dem Passieren

einer Induktionsschleife oder einer Lichtschranke wird die Vorderfront des sich nähernden Kraftfahrzeuges durch eine Videokamera aufgenommen und an einen Computer weitergegeben. Der Computer registriert und verarbeitet das erfasste Kfz-Kennzeichen für den weiteren Ablauf der kontrollierten Ein- und Ausfahrt.

3. Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit von Abfertigungsanlagen lässt sich durch Kapazitätsgrenzen, aber vor allem durch die Kriterien Rückstau und Wartezeit beschreiben. Dabei muss bedacht werden, dass an den Kapazitätsgrenzen liegende Anlagen hohe Wartezeiten und Rückstaulängen bedingen, so dass die Qualität der Abfertigung gering sein kann und Beeinträchtigungen des fließenden Verkehrs im öffentlichen Straßenraum auftreten können.

Wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben die Abfertigungszeiten an den Anlagen. Erfahrungen zeigen, dass Fahrzeuge, die ohne vorherigen Aufenthalt in einer Warteschlange zur Abfertigung vorfahren, in vielen Fällen länger für die Abfertigung benötigen, als Fahrzeuge, die in einer Warteschlange zur Abfertigung nachrücken. Insofern wird die Abfertigungszeit unterschieden für Fahrzeuge in der Warteschlange (Folgefahrzeuge) und Fahrzeuge ohne Warteschlangenaufenthalt (Einzelfahrzeuge).

Der Vorgang der Abfertigung besteht aus drei Einzelvorgängen:

- bei Fahrzeugen **ohne** vorhergehendem Aufenthalt in einer Warteschlange:
 - dem Anfahren zum Abfertigungsgerät
- bei Fahrzeugen **mit** vorhergehendem Aufenthalt in einer Warteschlange:
 - dem Nachrücken zum Abfertigungsgerät
- der Bedienung des Abfertigungsgerätes und
- dem Wegfahren, abgeschlossen mit der Schrankenschließung bei automatischen Abfertigungssystemen oder der Freigabe durch Personal.

Die Abfertigungszeit ist die Zeit, die benötigt wird, um alle drei Teilvorgänge abzuschließen. Sie lässt sich z.B. bei Systemen mit Einsatz von Schranken als die Zeit definieren, die - bei Auftreten von Warteschlangen - zwischen der letzten, vorausgehenden Schrankenschließung und der Schrankenschließung hinter einem betrachteten Fahrzeug vergeht. Für Einzelfahrzeuge lassen sich über Hilfsberechnungen entsprechende Zeitwerte aus den Messungen ermitteln.

Die Abfertigungszeiten wurden mittels umfangreicher Untersuchungen ermittelt. Diese Untersuchungen erstreckten sich auf baulich optimale Gestaltungen von Ein- und Ausfahrten. Zu enge Radienführungen können zu Schwierigkeiten in der Nutzung führen, die die Abfertigungszeiten gegenüber den hier angegebenen verlängern.

Für die hier vorgestellten Bemessungshinweise gilt darüber hinaus, dass Einflüsse wie

- Behinderungen durch kreuzende Fußgänger und Radfahrer an den Zufahrten,
- Staus an Einfahrten durch Vollbelegungen der Parkierungsanlage,
- Überstauungen der Ausfahrt durch zu geringe Aufnahmefähigkeit des der Abfertigungsanlage nachfolgenden Straßenverkehrsraums und
- technische Störungen verbunden mit zeitweiligen Ausfällen der Abfertigungsanlagen

ausgeschlossen werden. Die Bemessungshinweise, die auf der Grundlage von Messergebnissen abgeleitet sind, dienen also zur Bemessung baulich und betrieblich optimal gestalteter Zufahrten. Die bisher in der EAR 91 [2] angegebenen Kapazitätsgrenzen (max. Kfz/h = 3.600/mittlere Abfertigungszeit Folgefahrzeuge) lassen sich dadurch präzisieren. Tabelle 1 stellt mittlere Abfertigungszeiten und Kapazitätsgrenzen für die Bemessungssysteme dar.

Nr.	Kontrollmedium	Einfahrt			Ausfahrt		
		mittlere Abfertigungszeit [s]		Kapazität [Pkw/h]	mittlere Abfertigungszeit [s]		Kapazität [Pkw/h]
		Einzelzf	Folgezf		Einzelzf	Folgezf	
Kurzparker							
1	Kredit-/Debitkarten	24,4	21,6	160	19,5	16,5	210
2	Guthaben-/Kundenkarten	16,4	16,7	210	24,9	22,0	160
3	Handkassierung	17,8	14,9	240	-	-	-
4	Chipkartentickets	10,9	10,4	340	11,1	9,9	360
5	Magnetstreifen-/ Barcodetickets/Chipcoins	13,3	12,3	290	11,6	10,6	340
6	Magnetstreifentickets (Seitenlage)	13,3	12,3	290	15,2	14,0	250
Mietparker							
7	Magnetstreifen-/ Chipkartentickets	15,5	15,2	235	14,7	13,3	270
8	Magnetschlüssel/ Transpondertechnik	10,3	9,4	380	11,2	9,9	360

Tabelle 1: Mittlere Abfertigungszeiten und Kapazitäten an den Bemessungssystemgruppen

Erkennbar ist, dass die Abfertigungszeiten bei der Nutzung von Chipkarten-, Magnetstreifen-, Barcodetickets und Chipcoins zwischen rd. 10 und 15 s liegen. Dabei können mit Chipkartentickets die höchsten Leistungsfähigkeiten erzielt werden. Die längeren Abfertigungszeiten für Magnetstreifentickets mit Seitenlagetechnik können verschiedene Ursachen haben. Neben dem möglichen größeren Zeitbedarf des Ausfahrtkontrollgerätes aufgrund der eingesetzten Technik und der möglicherweise größeren sicherheitstechnischen Überprüfung des Tickets scheint die Gestaltung und damit die Eindeutigkeit der Handhabung des Tickets in Bezug auf die Einfuhrriechung einen erheblichen Einfluss auf die benötigte Abfertigungszeit zu haben. Dabei erweist sich ein Ticket mit zusätzlich aufgebrachtem Richtungspfeil als positiv für die eindeutige Handhabung.

Die komplexen Vorgänge bei der Nutzung von Kredit-/Debitkarten sowie Guthaben-/Kundenkarten führen mit der relativen Neuartigkeit dieser Zahlungsmöglichkeiten zu einem deutlich höheren Zeitbedarf für die Abfertigung. Es ist zu erwarten, dass bei diesen neueren Systemen, an denen noch Bedienschwierigkeiten durch die Unerfahrenheit der Nutzer auftreten, in absehbarer Zeit auch schnellere Abfertigungszeiten erzielt werden können.

Bedacht werden muss, dass bei der Nutzung von Kredit-/Debitkarten und Guthaben-/Kundenkarten der Gang zum Kassenautomaten entfällt. Wird die Warte- und Bedienzeit bei der nutzerbezogenen Abfertigungszeit mit eingerechnet, so bieten diese Systeme weniger Zeitverluste für den Nutzer. So zeigten Untersuchungen an Kassenautomaten, dass die mittlere Bedienzeit bei rd. 20 s zzgl. etwaiger Wartezeiten liegt, wobei eine große Streuung der erhobenen Werte zu verzeichnen war.

Bemerkenswert ist die beobachtete Streuung der Abfertigungszeiten, die die Abhängigkeit der Abfertigungszeiten vom jeweiligen Verhalten der Nutzer verdeutlicht. Die Streuung bedingt, dass eine Bemessung von Abfertigungsanlagen nicht allein anhand des Vergleiches mit Kapazitätsgrenzen erfolgen kann - bei zufällig nacheinander auftretenden langen Abfertigungszeiten, kann es zu unverträglich hohen Wartezeiten und Rückstaulängen kommen. Die Streuungen sind insbesondere bei der Handkassierung sowie bei der Nutzung von Kredit-/Debitkarten und Guthaben-/Kundenkarten hoch, da das Zahlungsmedium offensichtlich sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausfahrt nicht bei allen Abfertigungsvorgängen unmittelbar bereit gehalten wird. Beispielhaft sind in Bild 1, 2 und 3 die Verteilungen der Abfertigungszeiten für die Bemessungsgruppe Magnetstreifenticket/Barcodetickets/Chipcoins an der Einfahrt für Folgefahrzeuge und Einzelfahrzeuge sowie für Folgefahrzeuge bei Einsatz der pauschalen manuellen Handkassierung an der Einfahrt wiedergegeben. Dabei ist anzumerken, dass statistische Auswertungen keine nutzerspezifischen Einflüsse auf die Verteilung der Abfertigungszeiten erkennen lassen. Merkmale, wie z.B. der Besetzungsgrad des Fahrzeugs, die Häufigkeit der Parkhausnutzung sowie die unterschiedliche Zusammensetzung der Nachfragegruppen haben keinen signifikanten Einfluss auf die Dauer der Abfertigung.

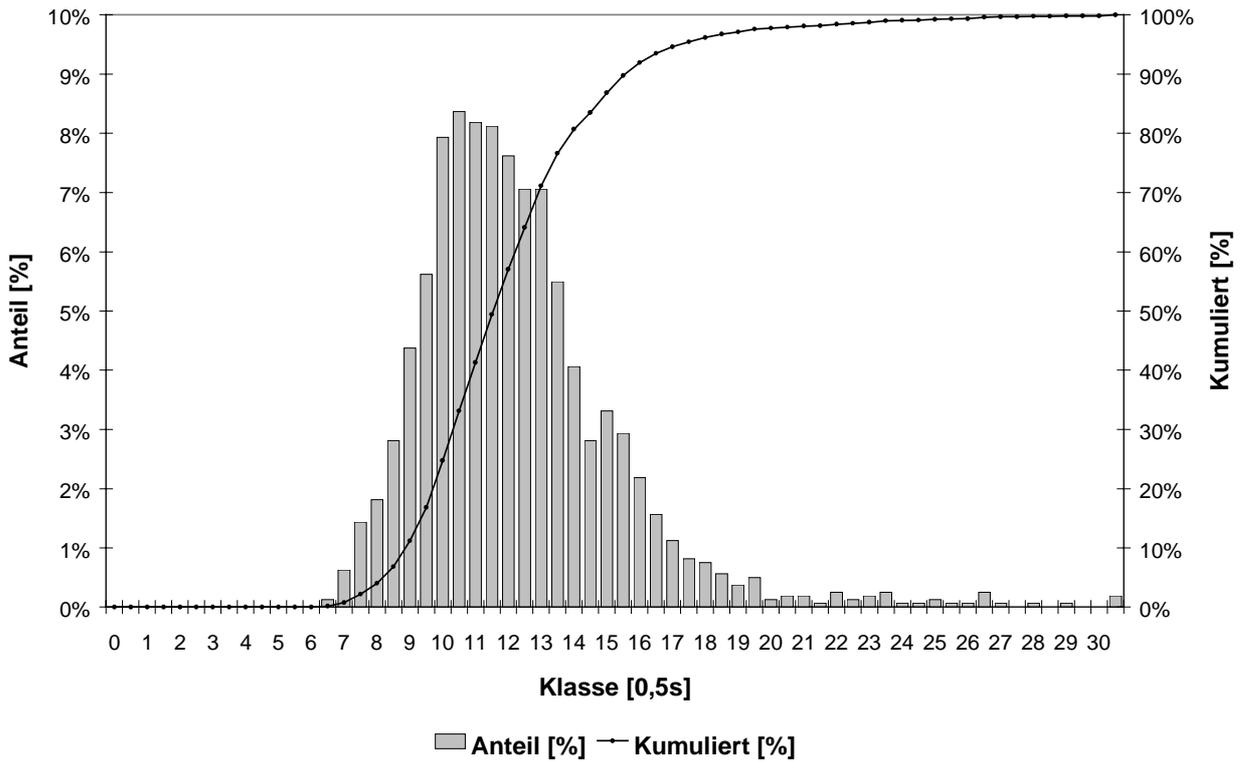


Bild 1: Abfertigungszeitverteilung für Folgefahrzeuge bei Einsatz Magnetstreifenticket/Barcodetickets/Chipcoins an der Einfahrt

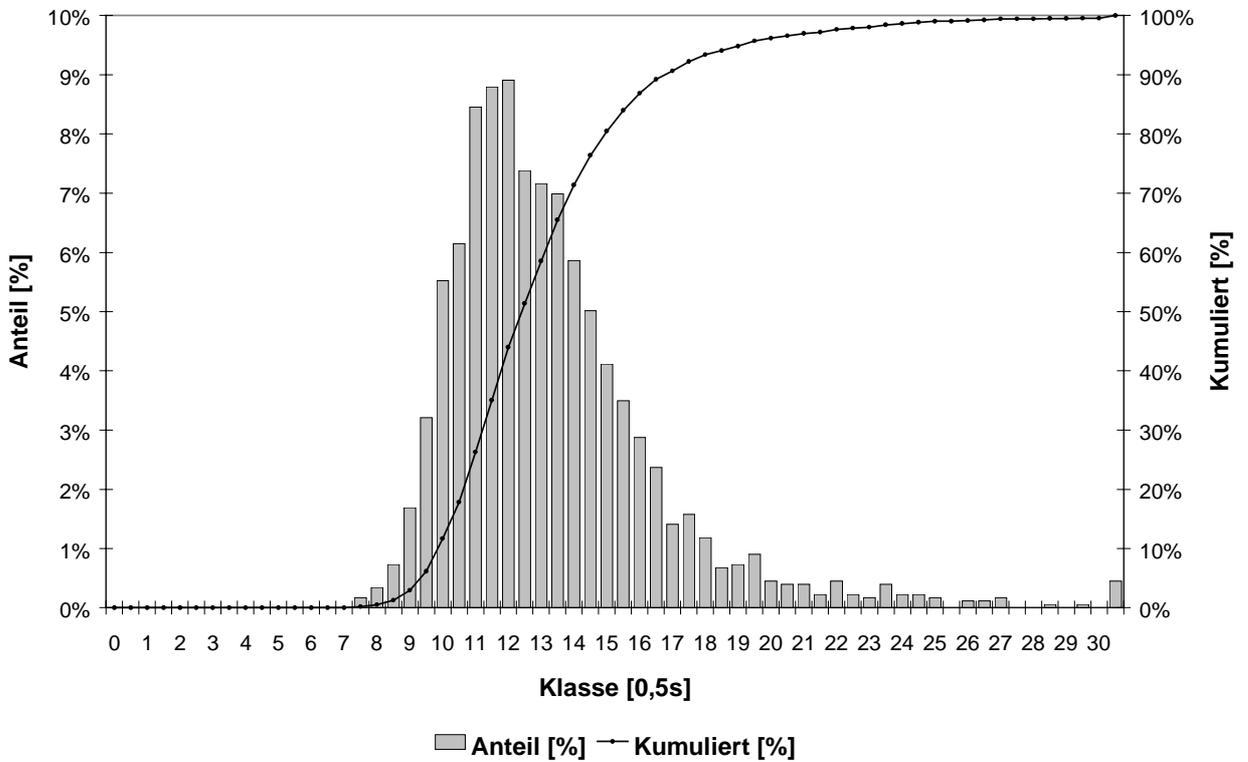


Bild 2: Abfertigungszeitverteilung für Einzelfahrzeuge bei Einsatz Magnetstreifenticket/Barcodetickets/Chipcoins an der Einfahrt

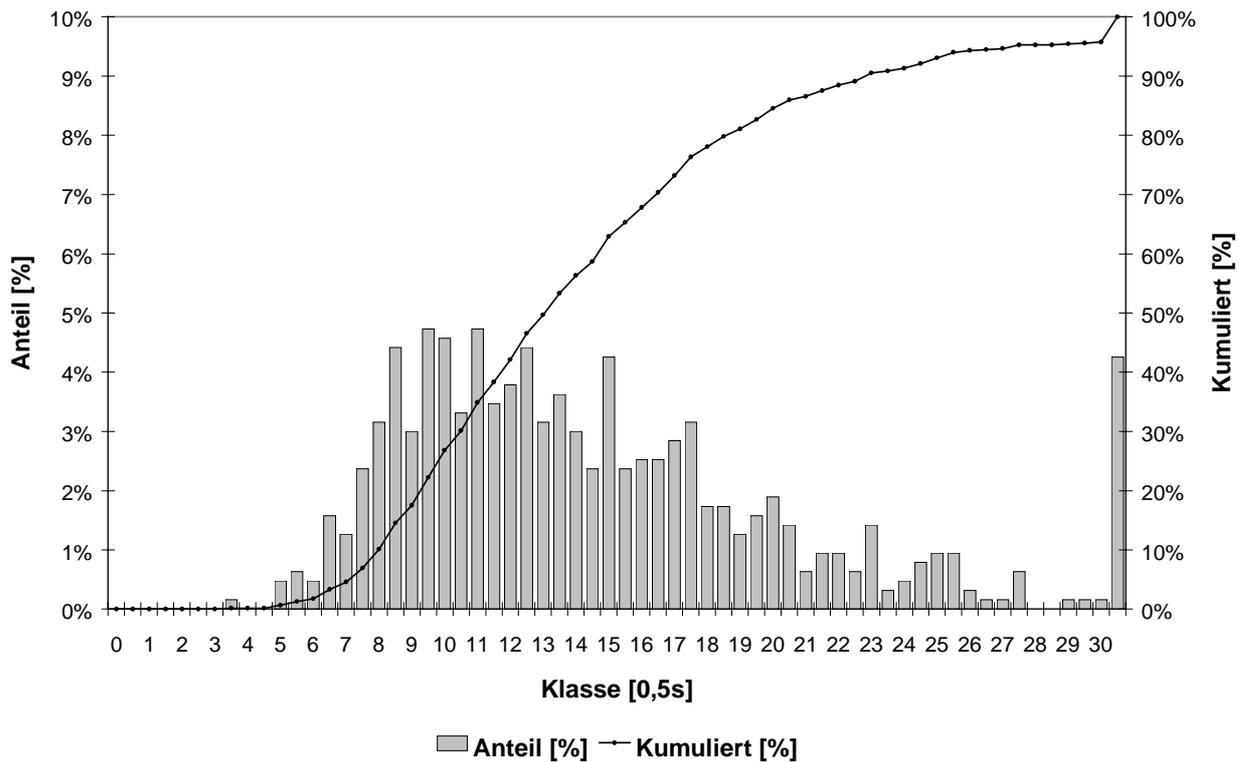


Bild 3: Abfertigungszeitverteilung für Folgefahrzeuge bei Einsatz der pauschalen manuellen Handkassierung an der Einfahrt

4. Qualitätsvorgaben

Für die Bemessung von Abfertigungsanlagen sind folgende Kriterien heranzuziehen:

- a) die Dauer der Ein- oder Ausfahrt:
Ermittelt wird zur Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs die mittlere Ein- oder Ausfahrdauer (Abfertigungszeit + Wartezeit) der innerhalb einer Bemessungsstunde ankommenden Fahrzeuge

- b) Staulängen vor Abfertigungssystemen:
Ermittelt wird zur Planung von Ein- und Ausfahrten die Anzahl der innerhalb einer Bemessungsstunde bei vorgegebener Wahrscheinlichkeit gleichzeitig wartenden Kraftfahrzeuge

Damit steht mit dem Bemessungskriterium a) ein Maß zur Verfügung, mit dem die Qualität des Verkehrsablaufs bemessen und bewertet werden kann. Die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) werden wie in Tabelle 2 ersichtlich festgelegt. Das Kriterium b) dient zur baulichen Bemessung der notwendigen Aufstelllängen vor Abfertigungssystemen.

QSV	Mittlere Ein- oder Ausfahrtdauer \bar{t}_D [s]
A	≤ 15
B	≤ 30
C	≤ 45
D	≤ 60
E	≤ 90
F	> 90

Tabelle 2: Grenzwerte der mittleren Ein- oder Ausfahrtdauer an Abfertigungsanlagen von Anlagen des ruhenden Verkehrs

Bei der Stufe A ist der Zufluss zur Abfertigungsanlage frei und die überwiegende Mehrzahl der Nutzer kann ohne zusätzliche Zeitverluste in einer Warteschlange bedient werden. Damit entspricht die Ein- oder Ausfahrtdauer in etwa der Abfertigungszeit. Bei der Stufe B ist die Ein- oder Ausfahrtdauer lediglich vereinzelt größer als die Abfertigungszeit; Stufe C kennzeichnet einen stabilen Verkehrszustand, wobei einzelne Nutzer bereits spürbare Wartezeiten in Kauf nehmen müssen. Bei der Stufe D ist der Verkehrszustand noch stabil - fast alle Nutzer müssen große Wartezeiten infolge vorhandener Warteschlangen hinnehmen. Im Rahmen der Stufe E entstehen Warteschlangen, die sich bei der vorhandenen Belastung nicht mehr zurückbilden. Für alle Nutzer ist dieser Zustand mit sehr großen Wartezeiten verbunden. Die Kapazität der Abfertigungsanlagen wird erreicht und bei der Stufe F überschritten. Hier nimmt die entstehende Warteschlange kontinuierlich zu, so dass die Abfertigungsanlage überlastet ist.

5. Bemessung mit Hilfe eines Simulationsprogrammes

In der Praxis stellen sich die Rahmenbedingungen zur Bemessung als durchaus komplex dar. So sind die Variation der Abfertigungsgeräte (Bemessungssysteme) in Verbindung mit der Kombination unterschiedlichen Systemgruppen an einem Abfertigungsfahrestreifen¹ und die vielfältigen Ausprägungen der Stundenbelastung in einer Stunden-ganglinie zu berücksichtigen.

Die Möglichkeit der Wahl mehrerer Abfertigungsfahrestreifen an Ein- und Ausfahrten stellt eine weitere Variable dar. Hier beeinflusst insbesondere das individuelle Verhalten die Nutzung der jeweils angelegten Abfertigungsfahrestreifen nutzen. Die gemachten Beobachtungen und Gespräche mit Betreibern zeigten, dass selbst die Abfertigungs-

¹ Es werden in der Praxis durchaus Ein- und Ausfahrtkontrollgeräte so ausgerüstet, dass es dem Nutzer freigestellt ist, ein Ticketmedium oder das gleichfalls installierte bargeldlose Ticketersatzsystem zu nutzen. Dabei verkehren häufig auch Mietparker mit einem weiteren, dritten Medium am selben Kontrollgerät.

fahrstreifen, die auf Grund baulicher Rand- und Rahmenbedingungen nicht optimal gestaltet sind, genutzt werden, wenn sich hier bereits eine Warteschlange gebildet hat - und dieses selbst dann, wenn der/die andere(n) Ein- oder Ausfahrtstrecken zu diesem Zeitpunkt weniger frequentiert sind.²

Ein entwickeltes und zu erwerbendes Simulationsprogramm „WASIPARK“ berücksichtigt zum einen die Ergebnisse aus Zustrom- und Abfertigungszeituntersuchung und zum anderen die gewünschte Praxisnähe der Bemessung mit den schon beschriebenen Variationsmöglichkeiten.

Dazu wurde ein Verfahren gewählt, das die Bemessungsstunde in 0,5-Sekunden-Abschnitten betrachtet. Weiterhin wird berücksichtigt, dass zu Beginn einer Bemessungsstunde der zu untersuchende Abfertigungsfahstreifen einen Rückstau aufweisen kann. Daher wird die Bemessungsstunde zum Zeitpunkt null gestartet, vorher aber eine Simulation von fünf Minuten Länge durchgeführt und die dann unter Umständen vorhandene Warteschlange berücksichtigt.

Im Teilbereich „Zustrom“ werden Fahrzeuge mittels der festgestellten Verteilung in Abhängigkeit der vorgewählten Verkehrsstärke erzeugt und an den zweiten Teilbereich „Abfertigungsvorgang“ übergeben. Dort wird dem Fahrzeug eine Abfertigungszeit zugeordnet. Die zugeordnete Abfertigungszeit berücksichtigt die Unterscheidung in Einzel- und Folgefahrzeuge. Wird ein erzeugtes Fahrzeug an das Ende einer Warteschlange übergeben, wird ihm die Abfertigungszeit aus der Verteilung der Folgefahzeugabfertigungszeiten zugeordnet, sonst die der Einzelfahrzeugverteilung.

Im Folgenden sind die zur Bemessung notwendigen und zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen ausgewiesen:

- a) Notwendig ist die Festlegung der Bemessungsverkehrsstärke und der Anzahl der Abfertigungsfahstreifen als Eingangsgrößen für das Bemessungsverfahren.
- b) Es besteht die Möglichkeit, an einer Abfertigungsanlage gleichzeitig verschiedene Bemessungssysteme zu „installieren“. Dazu kann der jeweilige Nutzeranteil an der Bemessungsverkehrsstärke festgelegt werden.
- c) Die Anzahl der zu simulierenden Bemessungsstunden mit exakt gleichen Randbedingungen und Eingaben - im Folgenden als Anzahl der Simulationsschritte bezeichnet - kann festgelegt werden. Dadurch werden Ergebnisstreuungen berücksichtigt und die Sicherheit der ermittelten Bemessungsgrößen erhöht. Die Mindestanzahl an Simulationsschritten wird auf 25 festgelegt.³
- d) Bei der Anlage mehrerer Abfertigungsfahstreifen können der schon erwähnte „Herdentrieb“ und die bauliche Gestaltung dadurch berücksichtigt werden, dass die Bemessungsverkehrsstärke anteilig auf die gewählte Anzahl Abfertigungsfahstreifen aufgeteilt wird.

² Dieser Effekt wurde in Gesprächen mit Betreibern als „Herdentrieb“ bezeichnet.

³ Anmerkung: Eine größere Anzahl Simulationsschritte stellt keine spürbare Veränderung der ermittelten Bemessungsgrößen dar.

- e) Da die Bemessungsverkehrsstärke über den Untersuchungszeitraum schwanken kann, wird die Bemessungsstunde in vier Viertelstunden geteilt. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, die ermittelte Bemessungsverkehrsstärke über die vier Teilzeiten zu verteilen.⁴ Somit kann, insbesondere bei solchen Zufahrten die zu erwartende Stundenganglinie nachgebildet werden, die besonderen Rahmenbedingungen - wie z.B. besucherintensive Veranstaltungen - unterliegen.

Das Programmsystem bietet in seiner Funktionalität damit die Möglichkeit, alle notwendigen Einflussparameter und -größen zu berücksichtigen und den Verkehrsablauf realitätsnah zu simulieren. Dabei werden dem Anwender neben den einfachen Eingabemöglichkeiten über entsprechende Eingabefenster (Bild 4) auch Einblicke in den Verkehrsablauf und den Zeitverlauf gegeben.

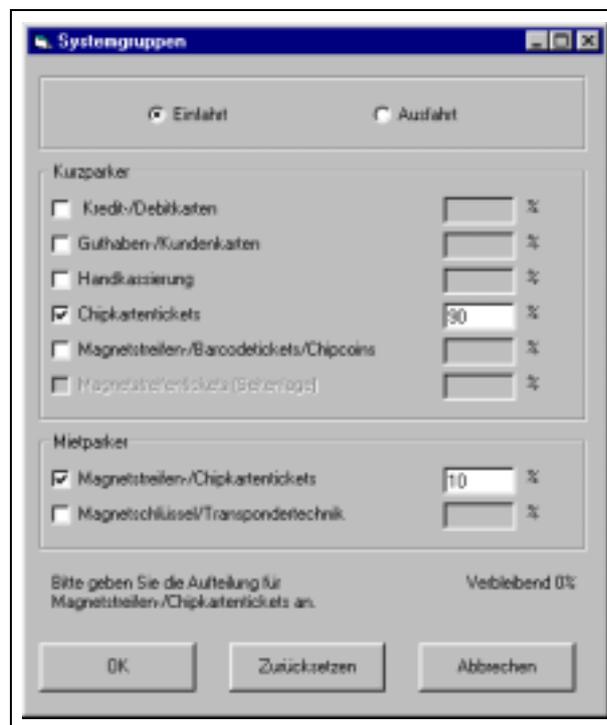
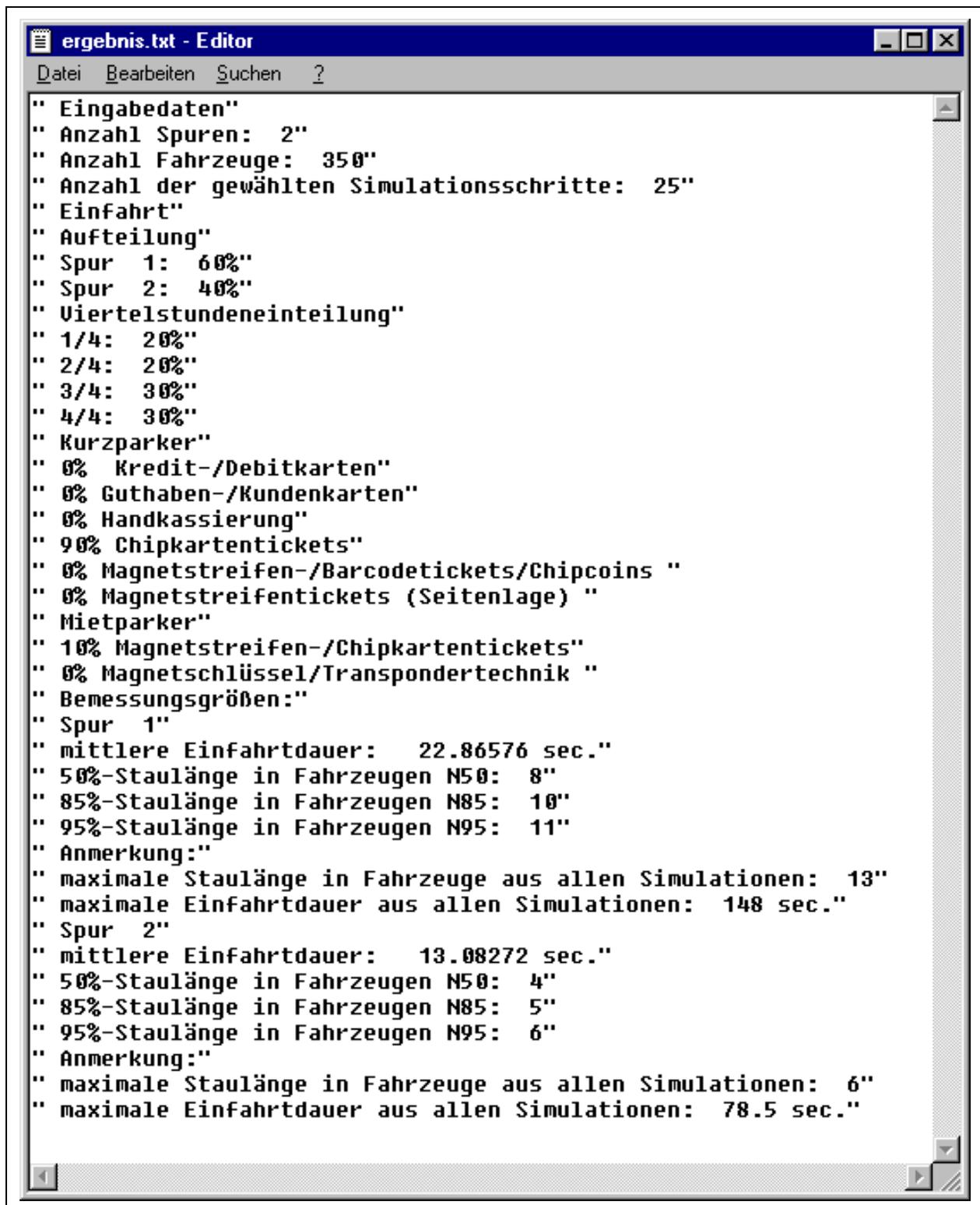


Bild 4: Auswahl Ein- oder Ausfahrt und Festlegung der Bemessungssysteme

⁴ Für die vorgeschaltete Fünfminutensimulation wird die Belastung der ersten Viertelstunde zu Grunde gelegt.

Im Ergebnis erhält man die unter den eingegebenen Rahmenbedingungen zu erwartenden Bemessungsgrößen (Bild 5).



```
" Eingabedaten"  
" Anzahl Spuren: 2"  
" Anzahl Fahrzeuge: 350"  
" Anzahl der gewählten Simulationsschritte: 25"  
" Einfahrt"  
" Aufteilung"  
" Spur 1: 60%"  
" Spur 2: 40%"  
" Viertelstundeneinteilung"  
" 1/4: 20%"  
" 2/4: 20%"  
" 3/4: 30%"  
" 4/4: 30%"  
" Kurzparker"  
" 0% Kredit-/Debitkarten"  
" 0% Guthaben-/Kundenkarten"  
" 0% Handkassierung"  
" 90% Chipkartentickets"  
" 0% Magnetstreifen-/Barcodetickets/Chipcoins "  
" 0% Magnetstreifentickets (Seitenlage) "  
" Mietparker"  
" 10% Magnetstreifen-/Chipkartentickets"  
" 0% Magnetschlüssel/Transpondertechnik "  
" Bemessungsgrößen:"  
" Spur 1"  
" mittlere Einfahrtdauer: 22.86576 sec."  
" 50%-Staulänge in Fahrzeugen N50: 8"  
" 85%-Staulänge in Fahrzeugen N85: 10"  
" 95%-Staulänge in Fahrzeugen N95: 11"  
" Anmerkung:"  
" maximale Staulänge in Fahrzeuge aus allen Simulationen: 13"  
" maximale Einfahrtdauer aus allen Simulationen: 148 sec."  
" Spur 2"  
" mittlere Einfahrtdauer: 13.08272 sec."  
" 50%-Staulänge in Fahrzeugen N50: 4"  
" 85%-Staulänge in Fahrzeugen N85: 5"  
" 95%-Staulänge in Fahrzeugen N95: 6"  
" Anmerkung:"  
" maximale Staulänge in Fahrzeuge aus allen Simulationen: 6"  
" maximale Einfahrtdauer aus allen Simulationen: 78.5 sec."
```

Bild 5: Eingabedokumentation und Ergebnisse zur Beurteilung der Verkehrsqualität und Dimensionierung des Stauraums

Die Bemessungen sind für 50%-, 85%- und 95%-Überstauungssicherheit möglich. Dadurch wird sichergestellt, dass in jeweils 50%, 85% oder 95% aller Bemessungsstunden der dimensionierte Stauraum für den Verkehrsablauf an Ein- und Ausfahrten ausreicht. Es verbleibt jeweils eine Überstauungswahrscheinlichkeit $p_{\bar{0}}$ von 50%, 15% oder 5% bezogen auf alle Spitzenstunden. Zu beachten ist, dass eine Überstauung der Zufahrtsbereiche zwar in Abhängigkeit der gewählten Überstauungssicherheit möglich ist, diese aber in den Bemessungsstunden entsprechend selten und kurzfristig auftritt.

6. Bemessung mit Hilfe eines vereinfachenden Verfahren

Für die Anwendung der Untersuchungsergebnisse unter vereinfachenden Randbedingungen ohne Nutzung des Bemessungsprogramms „WASIPARK“ steht ein Bemessungsverfahren zur Verfügung, das auch Eingang in das HBS 2001 [3] gefunden hat.

In diesem vereinfachenden Bemessungsverfahren wird die Bemessungsverkehrsstärke als über die Bemessungsstunde gleichverteilt angesetzt. Für die einzelnen Bemessungssystemgruppen stehen unter diesen Voraussetzungen Bemessungsdiagramme zur Bemessung des Stauraums und zur Beurteilung und Überprüfung des Verkehrsablaufs zur Verfügung. Bild 6 zeigt die zu erwartende Staulänge bei den statistischen Sicherheiten von 85% und 95% in Abhängigkeit der Verkehrsstärke an der Einfahrt.

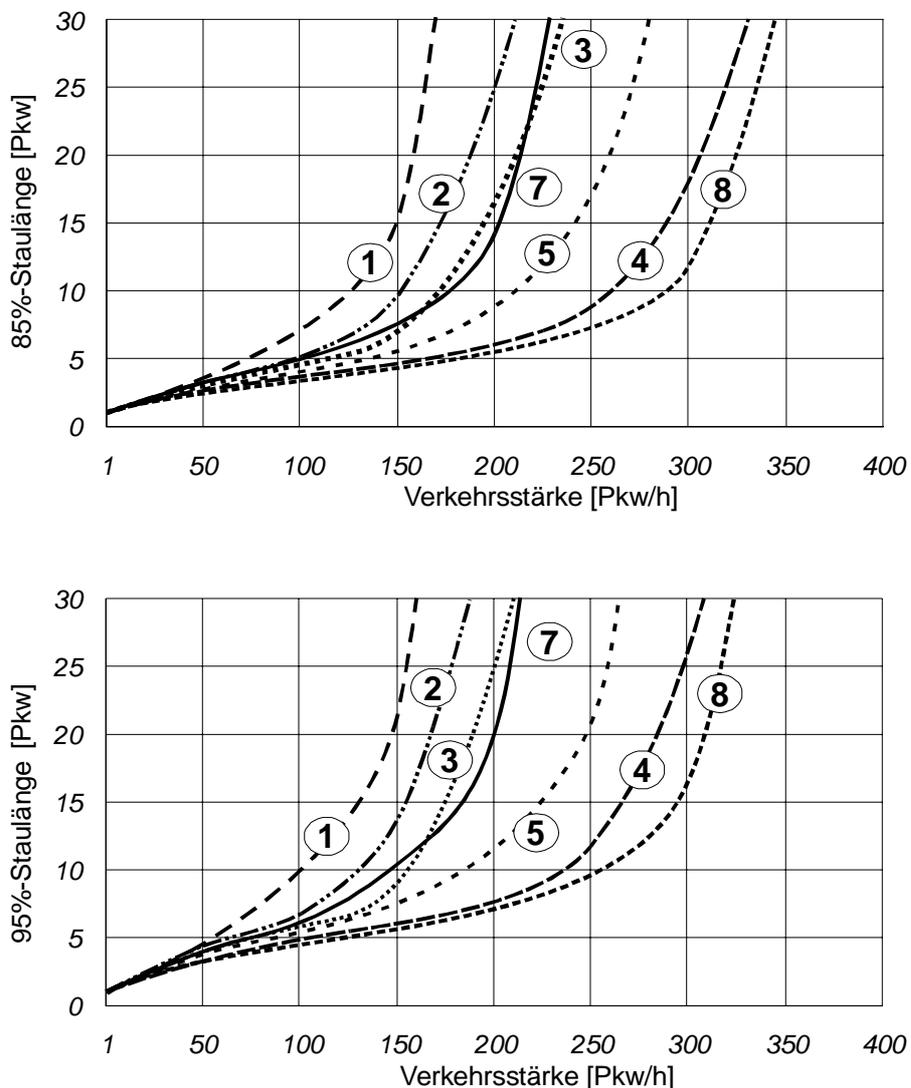


Bild 6: Staulängen unterschiedlicher statistischer Sicherheit bei der Einfahrt in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke im Zustrom zur Einfahrt (zur Bedeutung der Ziffern vgl. Tabelle 1)

Die mittlere Einfahrdauer als Maß für die Beurteilung der Qualitätsstufen ist in Bild 7 dargestellt.

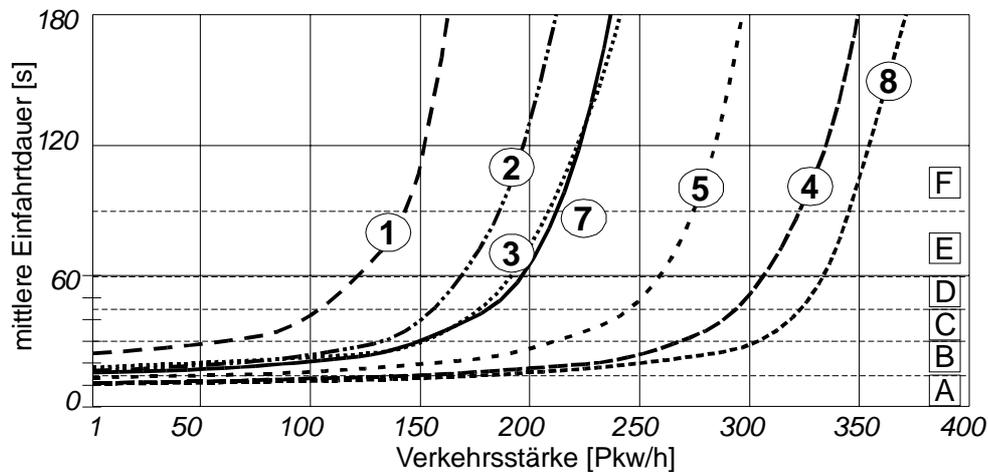


Bild 7: Mittlere Einfahrdauer und Qualitätsstufen für unterschiedliche Abfertigungssysteme in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke im Zustrom zur Einfahrt (zur Bedeutung der Ziffern vgl. Tabelle 1)

Eine Einschränkung des vereinfachenden Verfahrens ist, dass Abfertigungsanlagen mit Kombinationen von zwei oder mehr Abfertigungssystemen aus unterschiedlichen Bemessungssystemgruppen nicht überprüft und dimensioniert werden können. Für solche Anwendungsfälle muss dann das Bemessungsprogramm „WASIPARK“ genutzt werden.

Die Einfachheit der Handhabung des vereinfachenden Verfahrens lässt sich gut an Hand der Ableitung einzelner Arbeitsschritte erkennen. Zur Überprüfung der QSV und zur Stauraumdimensionierung sind - am Beispiel einer Einfahrt - die nachfolgenden 8 Arbeitsschritte notwendig:

- 1) **Vorgabe eines Abfertigungssystems** nach Tabelle 1.
- 2) Angabe der zur Verfügung stehenden **Abfertigungsfahrstreifen**.
- 3) Festlegung der angestrebten **Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs**.
- 4) Ermittlung der **Bemessungsverkehrsstärke**.
- 5) **Aufteilung** der Bemessungsverkehrsstärke auf die Abfertigungsfahrstreifen.
- 6) **Ermittlung der Staulänge** vor der Abfertigung bei **85 %** oder **95 %** statistischer Sicherheit mittels Bild 6.
- 7) Bestimmung der **mittleren Ein-/Ausfahrdauer** nach Bild 7.
- 8) Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs.

Mit Hilfe eines einfachen Formblattes sind schnelle Bemessungen möglich. Eine praktische Anwendung zur Dimensionierung mit den folgenden Eingangsgrößen zeigt dies:

Eingangsgrößen:

- Vorgegebenes Abfertigungssystem: Barcodetickets
- Anzahl der Abfertigungsfahrstreifen: 2
- Angestrebte Qualitätsstufe: B
- Bemessungsverkehrsstärke: 320 Pkw/h

In dem Formblatt ergibt sich die Berechnung dann wie folgt (Formblatt 1):

Formblatt 1: Ermittlung der erreichbaren Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs für Einfahrten von Abfertigungsanlagen					
Name, Ort: ABC- Parkhaus, Nordring 30					
1	vorgegebenes Abfertigungssystem (Tab. 12-2)	Kontrollmedium Nr. 5, Barcodetickets			
2	Anzahl der Abfertigungsfahrstreifen [-]	2			
3	angestrebte Qualitätsstufe QSV [-]	B			
4	Bemessungsverkehrsstärke [Pkw/h]	320			
5	Verkehrsstärke je Abfertigungsfahrstreifen [Pkw/h]	Fahrstr. 1 220	Fahrstr. 2 100	Fahrstr. 3	Fahrstr. 4
6	85 % - Staulänge (Abb. 12-1a) [Pkw]	11	4		
7	95 % - Staulänge (Abb. 12-1b) [Pkw]	14	6		
8	mittlere Einfahrdauer (Abb. 12-2) \bar{t}_D [s]	32	16		
9	erreichte Qualitätsstufe (Abb. 12-2) QSV [-]	C	B		

Formblatt 1: Berechnungsbeispiel über ein Formblatt zur Dimensionierung einer Einfahrt

Die mittlere Einfahrdauer im Abfertigungsfahrstreifen 1 beträgt 32 s und entspricht nach Tabelle 2 der QSV C. Die geforderte QSV B kann also nicht erreicht werden. Möglichkeiten zur Verbesserung ergeben sich in solchen Fällen aus der Anlage eines weiteren Abfertigungsfahrstreifens, der Wahl eines schnelleren Abfertigungssystems und/oder einer baulichen Umgestaltung, mit dem Ziel, eine bessere Verteilung der abzufertigenden Fahrzeuge auf die gewählte Anzahl der Abfertigungsfahrstreifen zu erreichen.

7. Ergänzende Empfehlungen

An dieser Stelle sei ausdrücklich auf die Bedeutung der regelgerechten baulichen Gestaltung der Zufahrtbereiche hingewiesen. Abfertigungsanlagen sollten nicht in der Kurve oder unmittelbar nach einem Bogen angeordnet werden. Problematisch sind auch große Rampenlängsneigungen unmittelbar vor dem Abfertigungssystem. Beispielhaft durchgeführte Untersuchungen haben ergeben, dass eine Abfertigungsanlage,

durchgeführte Untersuchungen haben ergeben, dass eine Abfertigungsanlage, die über einen Radius angefahren wurde, mittlere Abfertigungszeiten aufwies, die doppelt so hoch als bei vergleichbaren Anlagen waren.

Überraschend war, dass im Rahmen der Untersuchungen bei einem Großteil der durchgeführten Messungen Störungen beobachtet wurden. Sie treten an allen automatischen Abfertigungssystemen infolge eines zeitweisen Funktionsausfalls der Abfertigungsgeräte, aber auch durch Wartungsarbeiten oder durch Nachfüllen von Ticketmedien an den Einfahrtkontrollgeräten bzw. Entleeren der Ausfahrtkontrollgeräte auf. Insofern wird empfohlen, Abfertigungssysteme mit einem „Sicherheitspolster“ zu dimensionieren, so dass auch bei zeitweiligem Ausfall einzelner Anlagen ein qualitativ hinnehmbarer Verkehrsablauf gewährleistet werden kann.

Bei Abfertigungssystemen mit nur einer Einschubmöglichkeit am Ausfahrtkontrollgerät sollte das Ticket entsprechend der korrekten Einschubrichtung gut sichtbar gekennzeichnet sein. Weiterhin können bessere Abfertigungszeiten erzielt werden, wenn das Ticket aus festem Papier oder dünnem, stabilem Karton besteht.

8. Zusammenfassung

Auf der Grundlage empirischer Untersuchungen erfolgte die Ableitung praktikabler Bemessungs- und Bewertungsgrundlagen für zufahrtkontrollierte Ein- und Ausfahrten von Anlagen des ruhenden Verkehrs. Neben den weit verbreiteten Abfertigungssystemen wie Magnetstreifen-, Chipkarten-, Barcodetickets und Chipcoins wurden auch bargeldlose Zahlungsmedien untersucht.

Die Kapazitätsgrenzen liegen bei Systemen, bei denen ein Gang zum Kassenautomaten noch erforderlich ist, je nach System bei 250 bis 360 Pkw/h je Abfertigungsfahrtstreifen. Bei der Nutzung von Kredit-/Debitkarten und Guthaben-/Kundenkarten werden Kapazitäten von 160 bis 210 Pkw/h erreicht.

Bei der Bemessung muss bedacht werden, dass an den Kapazitätsgrenzen liegende Anlagen hohe Wartezeiten und Rückstaulängen bedingen, so dass die Qualität der Abfertigung gering sein kann und Beeinträchtigungen des fließenden Verkehrs im öffentlichen Straßenraum auftreten können. Um diesen Sachverhalt zu berücksichtigen, wurde ein Bemessungsverfahren aufgestellt, das unter vereinfachenden Annahmen (stationärer Zufluss in einer Bemessungsstunde, keine Systemkombinationen) die Verkehrsqualität an Ein- und Ausfahrten anhand der Ein- und Ausfahrtdauer beschreibt und die Bemessung des notwendigen Stauraums ermöglicht. Ein zur Verfügung stehendes Simulationsprogramm leitet darüber hinaus die mittleren Ein- und Ausfahrtdauern sowie Staulängen für Systemkombinationen und unter Berücksichtigung von Schwankungen des Verkehrsstroms ab. Hauptkriterium ist die mittlere Ein- und Ausfahrtdauer (Abfertigungszeit + Wartezeit) die in jedem Falle unter 60 s liegen sollte. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass der zur Verfügung stehende Stauraum vor der Abfertigungsanlage nicht oder nur mit geringer Wahrscheinlichkeit überstaut wird.

Auf die Bedeutung der regelgerechten baulichen Gestaltung der Zufahrtsbereiche wird besonders hingewiesen. Abfertigungsanlagen sollten vor allem nicht in der Kurve oder unmittelbar nach einem Bogen angeordnet werden. Bei allen automatischen Abferti-

gungssystemen beobachtete Störungen führen darüber hinaus zur Empfehlung, Abfertigungssysteme mit einem „Sicherheitspolster“ zu dimensionieren, so dass auch bei zeitweiligem Ausfall einzelner Anlagen ein qualitativ hinnehmbarer Verkehrsablauf gewährleistet werden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] DUNKER
Untersuchung zur Bemessung von Verkehrsflächen und Abfertigungsanlagen für
Personenkraftwagen in Anlagen für den ruhenden Verkehr
in: Heft 123 der Reihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik

- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Empfehlungen für Anla-
gen des ruhenden Verkehrs (EAR 91), Ausgabe 1991

- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Handbuch zur Bemess-
ung von Straßenverkehrsanlagen, HBS 2001, Köln 2001

Verfasseranschriften:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gerlach, Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und For-
schungsgebiet Straßenverkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik, Fachbereich Bau-
ingenieurwesen, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal

Dipl.-Ing. Achim Heinig, Siemens AG, I&S ITS, Frohnhauser Straße 69, 45127 Essen;
vorher: IGS Ingenieurgesellschaft Stolz mbH, Schiefbahnerstraße 60, 41564 Kaarst