



Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen

Capacité des installations de stationnement

Capacity of Parking Facilities

Emch+Berger AG Bern
Stefan Gantenbein, Dipl. Bau-Ing. ETH
Guido Rindsfuser, Dipl. Bau-Ing. TH

**Forschungsauftrag VSS 2000/455 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 « Projektabschluss », welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 "conclusione del progetto" che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) appointed by the Federal roads office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Emch+Berger AG Bern

Gartenstrasse 1, Postfach 6025, 3001 Bern, Tel. +41 (0)31 385 61 11
<http://www.emchberger.ch>

Projektleitung

Stefan Gantenbein

Mitglieder

Guido Rindsfuser
Martin Dolleschel-Brinkmeier
Alain Kutter

Federführende Fachkommission

VSS-Fachkommission 1: Verkehrsplanung
Expertenkommission 1.01: Erhebungen, Grundlagen zum Parkieren

Begleitkommission

Präsident

Paul Widmer, Frauenfeld

Mitglieder

Kay Axhausen, Zürich
Walter Baumann, Winterthur
Christian Hasler, St. Gallen
Florian Meyer, Lausanne
Roland Ribi, Genève
Mario Rubin (ASTRA)
Stefan Schneider, Zürich
Eric Stadtmann, Bern
Erich Willi, Zürich

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> herunter geladen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	3
	Zusammenfassung	6
	Résumé	8
	Summary	10
1	Einleitung	12
2	Stand der Forschung	13
3	Parkierungselemente	14
3.1	Gliederung und Einordnung.....	14
3.2	Verknüpfung von Parkierungselementen	16
4	Abfertigungsanlagen an Ein- und Ausfahrten	17
4.1	Einleitung	17
4.2	Systembeschreibung.....	19
4.3	Begriffe	22
4.4	Massgebende Kenngrössen	23
4.5	Datenträger / Kontrollmedien.....	25
4.5.1	Magnetstreifenkarten.....	25
4.5.2	Chipkarten.....	26
4.5.3	Barcodekarten / Lochkarten.....	26
4.5.4	Parkchips	26
4.5.5	Kreditkarten.....	27
4.5.6	Debitkarten.....	27
4.6	Modellierung des Abfertigungsprozesses.....	28
4.7	Empirische Untersuchungen.....	29
4.7.1	Methodik	29
4.7.2	Untersuchungsumfang	30
4.7.3	Messverfahren	30
4.7.4	Lochkartentickets	37
4.7.5	Barcodetickets.....	40
4.7.6	Kreditkarten.....	42
4.7.7	Handkassierung	44
5	Fahrwege	48
5.1	Einleitung	48
5.2	Massgebende Einflussgrössen	49
5.3	Empirische Untersuchungen.....	50
5.3.1	Methodik	50
5.3.2	Gerade Fahrwege	50
5.3.3	Fahrwege in Kurven	54
6	Rampen	55
6.1	Einleitung	55
6.2	Empirische Untersuchungen.....	56
6.2.1	Gerade Rampen.....	56
6.2.2	Gewundene Rampen	57
6.2.3	Parkrampen	57
7	Fahrgassen	58
7.1	Einleitung	58
7.2	Fahrgasse als System betrachtet.....	59
7.3	Massgebende Kenngrössen von Fahrgassen	61
7.3.1	Grundkapazität.....	61
7.3.2	Minderung der Leistungsfähigkeit durch Parkierungsvorgänge.....	62
7.3.3	Einflussfaktoren.....	62
7.3.4	Theoretische Leistungsgrenzen	63
7.3.5	Störfaktoren	64
7.4	Empirische Untersuchungen in Fahrgassen.....	64
7.4.1	Bestimmung der Grundkapazität.....	64
7.4.2	Zeitbedarf für das Einparkieren.....	66
7.4.3	Zeitbedarf für das Ausparkieren.....	68
7.4.4	Zeitverluste infolge wartender Fahrzeuge	69

7.4.5	Zeitverluste infolge Fussgängerbewegungen quer zur Fahrgasse	70
7.5	Leistungsfähigkeit von Fahrgassen	70
7.6	Diskussion der Ergebnisse / Normvorschlag	72
8	Stauraum vor Ein-/Ausfahrten	73
8.1	Einleitung	73
8.2	Ausgangslage	73
8.2.1	Stand der Forschung	73
8.2.2	SN 640 293 Parkieren – Betrieb (bisher)	74
8.3	Massgebende Kenngrössen	76
8.3.1	Einleitung	76
8.3.2	Zufahrtsverteilung	76
8.3.3	Verteilung der Abfertigungszeiten	79
8.4	Modellierung	82
8.4.1	Ansatz	82
8.4.2	Bestimmung der Rückstaulängen	83
8.4.3	Simulationsumfang	85
8.5	Entwicklung und Verhalten der Rückstaulängen	86
8.5.1	Vorbemerkungen	86
8.5.2	Einfluss der Abfertigungsleistung auf die Rückstaubildung	87
8.5.3	Einfluss der Zufahrtsbelastung auf die Kolonnenbildung	90
8.5.4	Verhalten bei selben Auslastungsgraden	91
8.5.5	Verhalten im Bereich der Leistungsgrenze	91
8.5.6	Verhalten bei erhöhten Zufahrtsintensitäten und Zufahrtsmassierungen (Pulks)	93
8.5.7	Verhalten bei konstanten Abfertigungszeiten	99
8.5.8	Verhalten bei mehrspurigen Ein-/ Ausfahrten	99
8.6	Ergebnisse und Interpretation	103
8.6.1	Zusammenstellung der Ergebnisse	103
8.6.2	Interpretation der Ergebnisse	103
8.6.3	Bemessungsdiagramm	104
	Anhänge	105
	Literaturverzeichnis	118
	Abkürzungen	119
	Projektabschluss	120
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	123

Zusammenfassung

Vor mehr als 25 Jahren erschien die letzte Überarbeitung der Schweizer Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb. In der Zwischenzeit hat die Bewirtschaftung von Parkierungsanlagen mit zufahrtskontrollierten Ein- und Ausfahrten markant zugenommen. Neue Abfertigungstechniken und Kontrollmedien sind auf den Markt gekommen, was die Angebotspalette wie auch die Abfertigungszeiten grundsätzlich veränderte. Vor allem die Technik hat sich rasant weiterentwickelt, was beispielsweise am verstärkten Einsatz bargeldloser Medien wie Kreditkarten erkennbar ist. Inwiefern sich diese technische Entwicklung auf die Leistungsfähigkeit der Anlagen auswirkt, war einer der zu untersuchenden Fragestellungen der vorliegenden Forschungsarbeit. Neben den technischen Aspekten sollten generell die Leistungswerte aller Parkierungselemente bestimmt werden, um mögliche Veränderungen zu erkennen und schliesslich die Norm zu aktualisieren.

Abfertigungsanlagen

Die Leistungsfähigkeit von Abfertigungsanlagen wird massgeblich durch die beiden Faktoren Technik und Bedienung bestimmt. Unterschiede auf technischer Seite ergeben sich durch den Prüf- und Kontrollprozess der zum Einsatz kommenden Kontrollmedien wie beispielsweise Magnetstreifen-, Lochkarten, Barcodetickets etc. Im Vergleich zur technisch bedingten Abfertigungszeit bestimmt vor allem die vom Anwender gebrauchte Bedienzeit das Leistungsvermögen des Gesamtsystems. Erst der Faktor Mensch trägt mit seinem Fahrmanöver wie auch seinem Verhalten während des Bedienprozesses zur Streuung der Abfertigungszeiten und somit zu den Schwankungen der Leistungsfähigkeiten bei. Erhebungen an Abfertigungsanlagen ergaben durchschnittlich längere Abfertigungszeiten, als dies aus der Norm zu schliessen war. Die geringeren Leistungsfähigkeiten waren unter anderem darauf zurückzuführen, dass bei den neuesten Berechnungen die zeitlichen Schwankungen aus der Bedienung wie auch jene aus dem Zeitbedarf für das Nachrücken der Folgefahrzeuge mitberücksichtigt wurden. Für Abfertigungsanlagen mit Magnetstreifenkarten in Seitenlage konnte an der Einfahrt eine Leistungsfähigkeit von 325 Fahrzeugen pro Stunde ermittelt werden. Die bisherige Norm SN 640 293 wies einen Wert von 400 Fahrzeugen pro Stunde aus, wobei das Kontrollmedium nicht weiter unterschieden wurde. Jüngste Untersuchungen der deutschen Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen zeigten noch tiefere Werte. So wurden in der aktuellen EAR 05 für Magnetstreifenkarten in Seitenlage eine Leistungsfähigkeit von 290 Fahrzeugen pro Stunde angegeben, was mehr als 25% unter der im Schweizer Normenwerk aufgeführten Kapazität liegt. Lochkarten wie auch Barcodetickets wiesen Leistungswerte von 300 bis 320 Fahrzeugen pro Stunde an den Einfahrten auf. Bei Barcodetickets konnte an Ausfahrten eine Leistungsfähigkeit von 400 Fahrzeugen pro Stunde festgestellt werden. Der Einsatz von Kreditkarten verlängert je nach Prüfsystem (mit/ohne Verbindung zu Rechencenter der Kreditkartenfirmen) die Abfertigungszeit teilweise markant. Für verbundene Abfertigungsanlagen und damit direkt überprüfte Kreditkarten liegt die Leistungsfähigkeit an der Einfahrt bei 180 Fahrzeugen pro Stunde. Da die Einsatzmöglichkeit von Kreditkarten stets als Angebotsergänzung zu betrachten gilt, sind die Leistungswerte des Basismediums entsprechend des Kreditkartenanteils anzupassen.

Fahrwege und Rampen

Gemäss Norm 640 293 Parkieren – Betrieb weisen Fahrwege und Rampen mit einem Radius grösser gleich 20 Meter eine Leistungsfähigkeit von 500 bis 800 Fahrzeuge pro Stunde aus. Erhebungen an Fahrwegen zeigten, dass deutlich höhere Leistungsfähigkeiten von 1'100 bis 1'300 Fahrzeuge pro Stunde möglich wären, vorausgesetzt der Verkehrsfluss an Knotenpunkten kann sichergestellt werden. Das interne Verkehrsnetz einer Parkierungsanlage ist allerdings in der Regel so engmaschig geknüpft, dass Knotenpunkte dicht aufeinander folgen und somit die jeweiligen Knotenströme den Verkehrsabfluss aus Fahrwegen und Fahrgassen mitbestimmen. Die Leistungsfähigkeit von Fahrwegen im Bereich von ausgelasteten T-Knoten kann sich auf ungefähr 620 Fahrzeuge pro Stunde reduzieren. Für Fahrwege wird schliesslich eine Leistungsfähigkeit von 600 bis 800 Fahrzeuge pro Stunde ausgewiesen.

Die Leistungsfähigkeit von Rampen mit Radien grösser gleich 20 Meter konnten in der Bandbreite von 500 bis 800 Fahrzeugen pro Stunde bestätigt werden. Bei kleineren Rampenradien waren hingegen kaum geringere Werte zu beobachten, so dass neu von 400 bis 600 Fahrzeugen pro Stunde ausgegangen werden kann. Die Norm SN 640 293 hatte bisher für enge Rampen Leistungswerte in der Bandbreite von 300 bis 500 Fahrzeuge pro Stunde ausgewiesen.

Fahrgassen

Die Leistungsfähigkeit von Fahrgassen ist im Gegensatz zu jener der übrigen Parkierungselemente nicht nur durch die Infrastruktur selbst (Angebotelement) bestimmt, sondern ergibt sich aufgrund betrieblicher Einflussgrößen aus einer Kombination von Angebot (Grundkapazität) und Nachfrage (Minderung der Kapazität). Die Grundkapazität einer Fahrgasse in welcher keine Parkierungsaktivität stattfindet, beträgt 700 Fahrzeuge pro Stunde, was in etwa jener eines Fahrweges entspricht. Mit zunehmender Parkierungsaktivität (Fahrmanöver beim Ein-/Ausparkieren) wird der Hauptstrom in der Fahrgasse für kurze Zeit unterbrochen, womit dessen Leistungsfähigkeit sinkt. Ohne Kenntnis der Zusammensetzung der Fahrtmotive (Ein-/Ausparkieren, Durchfahrt) kann die Leistungsfähigkeit der Fahrgasse nicht eindeutig bestimmt werden. Geht man von einer gleichen Anzahl ein- und ausparkierender Fahrzeugen aus, so ergibt sich in Fahrgassen im Einrichtungsverkehr eine Leistungsfähigkeit von 360 Fahrzeugen pro Stunde. Die Bandbreite aus der bisherigen Norm von 300 bis 400 Fahrzeugen pro Stunde konnte bestätigt werden und soll beibehalten bleiben. Für Fahrgassen im Zweirichtungsverkehr konnten gegenüber der bisherigen Norm (100 – 150 Fz/h) leicht höhere Werte von bis zu 200 Fahrzeugen pro Stunde beobachtet werden. Bei Fahrgassen im Zweirichtungsverkehr spielt die Ausfahrtmöglichkeit eine Rolle: Kann auf beiden Enden ein- und ausgefahren werden so können die oberen Werte der Bandbreite angewendet werden.

Stauraum vor Ein-/Ausfahrten

Um Störungen im Verkehrsfluss von Ein-/Ausfahrten zu vermeiden, ist üblicherweise vor der Abfertigungsanlage ein Stauraum vorzusehen. Die Länge des erforderlichen Stauraumes richtet sich nach der Abfertigungsleistung (Angebotelement) wie auch nach den Schwankungen in der Intensität des Zustromes (Nachfrageelement). Zur Dimensionierung von Stauräumen sind in der Regel die maximalen Staulängen von Interesse. Da diese jedoch streng genommen unendlich lang sein können, werden Staulängen angegeben, welche mit einer definierten sehr geringen Wahrscheinlichkeit (sogenannte Sicherheit gegen Überstauung) nicht überschritten werden. In den Berechnungen wurde eine Überstauungssicherheit von 85% berücksichtigt. Die ermittelten Werte unterscheiden sich nur geringfügig von jenen der Norm SN 640 293. Erst im Bereich der Leistungsgrenze waren grössere Abweichungen festzustellen, welche durch den Berechnungsansatz und den darin berücksichtigten Schwankungen der Abfertigungsleistungen sowie den Zufahrtsintensitäten begründet werden können. Generell sollten Stauräume nicht im Bereich von Auslastungsgraden von mehr als 80% dimensioniert werden, da die Stauräumlichkeiten erheblich zunehmen und die Rückstaubildung starken Schwankungen unterworfen ist.

Résumé

Il y a plus de 25 ans, est apparu la dernière réécriture de la norme suisse SN 640 293 Parcage – Exploitation. Entre temps, l'exploitation des installations de stationnement avec contrôle d'accès (à l'entrée et à la sortie) a nettement augmenté. De nouvelles techniques d'aménagement et de nouvelle installation de contrôle sont arrivées sur le marché qui a fondamentalement transformé la palette d'offres et le temps de traitement. La technique s'est surtout très vite améliorée et l'utilisation de moyens de paiement comme les cartes de crédit s'est très répandue. Dans quelles mesures, ces progrès techniques influent-ils sur la capacité des installations, était une des questions à examiner dans le cadre du présent travail de recherche. Parallèlement à l'aspect technique, la valeur de la capacité de chaque installation de stationnement a du être globalement déterminée pour pouvoir distinguer les changements et actualiser la norme.

Aménagement de service

La capacité des aménagements de services est définie par les deux facteurs suivants : technique et service. D'un point de vue technique, les différences résultent de procédures d'essais et de contrôle du média de contrôle employé, comme les bandes magnétiques, les cartes à trous, les tickets à code-barres, etc. La capacité du système de contrôle est principalement définie par le temps d'utilisation de l'utilisateur et en second lieu par la rapidité technique de l'installation. Tout d'abord, le facteur Homme avec ses manœuvres de conduite tout comme son comportement pendant le processus de service contribue à la dispersion du temps d'enregistrement et par conséquent à la variation de la capacité. Les observations conduites aux éléments de service ont montré des temps de traitement moyens plus longs que ceux préconisés par la norme. Les petites capacités ont dû être attribuées entre autre au fait que les variations de temps dues au service ainsi que le temps nécessaire au véhicule pour prendre la place du véhicule précédent ont été pris en compte dans les calculs de la norme la plus récente. Pour les aménagements de services avec cartes à bande magnétique latérale, une capacité de 325 véhicules par heure a pu être déterminée. La norme antérieure SN 640 293 définit une valeur de 400 véhicules par heure, bien que le moyen de contrôle ne soit pas précisément défini. Les analyses les plus récentes de la *Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen* (allemand) montrent des valeurs encore plus basses. Ainsi, dans l'EAR 05 une capacité de 290 véhicules par heure est mentionnée pour les éléments de services avec cartes à bande magnétique latérale, ce qui est inférieur de plus de 25% à la capacité spécifiée dans la norme suisse. Les cartes à trous ainsi que les tickets à code barre présentent une capacité à l'entrée de 300 à 320 véhicules par heure. Avec les tickets à code barre, une capacité de 400 véhicules par heure a pu être constatée à la sortie. Selon le système de contrôle (avec/sans connexion avec le système informatique de la carte crédit), l'utilisation de cartes de crédit augmente nettement le temps de traitement. Les installations connectées, avec contrôle direct des cartes de crédit, ont une capacité d'environ 180 véhicules par heure. Du fait que les cartes de crédit sont à considérer comme complément d'offre, les valeurs de capacité des médias de bases sont donc à adapter à la proportion d'utilisateurs de cartes de crédit.

Voies d'accès et rampes

D'après la norme 640 293 Parcage – Exploitation, les voies d'accès et les rampes d'un rayon supérieur ou égal à 20 mètres ont une capacité de 500 à 800 véhicules par heure. Un comptage au niveau des voies d'accès a montré qu'une capacité clairement supérieure de 1100 à 1300 véhicules par heure est possible, à condition que le flux de trafic puisse être assuré aux nœuds de communication. Le réseau de trafic interne d'une installation de stationnement est en règle générale tellement resserré, que les nœuds de communication sont rapprochés qu'ainsi ceux-ci influencent les flux sur les voies d'accès et les allées de parcage. La capacité des voies d'accès dans la zone du carrefour en « T » utilisées à pleine capacité peut se réduire à environ 620 véhicules par heures. Pour les voies d'accès, on relève au final, une capacité de 600 à 800 véhicules par heure.

La capacité des rampes de rayon supérieur ou égal à 20 mètres peut être définie entre 500 et 800 véhicules par heure. Pour des rayons de rampes plus petits, les valeurs observées sont à peine inférieures. Une nouvelle valeur de 400 à 600 véhicules par heure peut être définie. La norme SN 640 293 donne jusqu'à présent, pour les rampes étroites, une valeur de capacité de 300 à 500 véhicules par heure.

Allées de parcage

La capacité des allées de parcage est contrairement à de celle des autres éléments de stationnement, non seulement définie par l'infrastructure elle-même (offre), mais aussi par l'exploitation du parking (entrée / sortie de places de parc). La capacité de base d'une allée de parcage dans laquelle aucune manœuvre de stationnement n'est en cours, est de 700 véhicules par heure, ce qui correspond environ à celle d'une voie d'accès. Avec une augmentation des manœuvres de stationnement (entrée et sortie de la place de parc), le flux principal dans l'allée est de suite interrompu et la capacité baisse. Sans connaissance des motifs de circulation (Entrée/ Sortie de la place de parc, circulation longitudinale) la capacité de l'allée de parcage ne peut être déterminée précisément. En partant du principe que le nombre de véhicules qui gagnent ou quittent une place de stationnement est le même, on obtient une capacité dans l'allée de parcage en sens unique de 360 véhicules par heure. La fourchette de 300 à 400 véhicules / heure donnée dans la norme actuelle a pu être vérifiée et doit être conservée. Pour les allées de parcage à double sens, une capacité légèrement supérieure à la norme (100-150 véhicules/heure) allant jusqu'à 200 véhicules/heure a été constatée. Pour les allées de parcage à double sens, les possibilités de sorties jouent un grand rôle si l'entrée et la sortie sont possibles aux deux extrémités de l'allée, la valeur supérieure de la fourchette mentionnée ci-dessus peut être appliquée (200).

Zone de stockage à l'entrée et à la sortie

Pour éviter les perturbations du trafic à l'entrée et à la sortie, un espace de stockage avant les aménagements de service est à prévoir. La longueur de l'espace nécessaire est définie en fonction de la capacité de l'élément d'offre) et les variations dans l'intensité du trafic (demande). Pour le dimensionnement de l'espace de stockage, on s'intéresse en général à la longueur de stockage maximale. Etant donné que celle-ci peut être théoriquement infinie, on définit les longueurs de stockage avec une probabilité de dépassement très basse (appelée sécurité de surcharge du trafic). Dans les calculs, une sécurité de surcharge du trafic de 85% est prise en compte. La différence entre les valeurs déterminées et celle de la norme SN 640 293 est quasi-insignifiante. Dans le domaine de la limite de capacité, d'importantes variations ont pu être constatées ; ces dernières peuvent être justifiées par les variations de la capacité des éléments tout comme l'intensité du flux d'accès, pris en compte par les calculs. En général, les espaces de stockages ne devraient pas être dimensionnés à un degré d'exploitation de plus de 80% car les longueurs des espaces de stockage augmentent considérablement et la formation de files d'attente est soumise à d'importantes variations.

Summary

More than 25 years ago the last renewal of the Swiss Norm "SN 640 293 – Parkieren – Betrieb" was published. In the meantime a significant increase of management with controlled (automated) entrances and exits of parking areas was to be recognized. New technologies and control media were developed with deep impact to e.g. supply and despatching times. Especially new technologies as for example ticketing per cell phone or paying by credit card led to assumptions about diversification or change of capacity / efficiency of these facilities / installations. The research project with the report at hand aimed to quantify these changes, estimate the capacity / performance of the facilities and to renew the existing Swiss norm.

Despatch terminals

The capacity of despatch terminals is mainly influenced by 2 criterions: technique and operation. Differences from technical view are resulting from used control media as for example magnetic stripe card, punch card, barcode tickets. Compared to the percentage of technical despatch time, the despatch time resulting from operation through the user is mainly influencing the capacity of the entire system. Human behaviour, driving ability and behaviour during operation are the reason for the distribution of despatch times and therefore mainly reasonable for variation of capacity. Empirical data showed, that despatch times are significantly longer than calculated using the norm SN 640 293. New calculations, considering temporal variations in operation as well as the time needed for succeeding vehicles led to minor capacities. As for example, the empirical analyses for an entrance despatch terminal with magnetic stripe card showed a capacity of about 325 v/h. The norm gives a value of 400 v/h, without distinguishing the kind of control media. Newer results of the German research association FGSV led to even deeper values: the EAR05 gives 290 v/h for the example, about 25% under the given capacity by the Swiss norm. Systems with barcode tickets or punch cards showed capacities between 300 and 320 v/h at entrances. Terminals with barcode tickets showed capacities from 400 v/h at the exit. The usage of credit cards leads to significant extension depending on online connection to servers of the credit institute or not. With an online connection and online control, capacity decreases to 180 v/h. The usage of credit cards always is an additional offer, so that the resulting capacity is depending from the percentage of credit card usage.

Roads and ramps

The Swiss norm gives a capacity value from 500 to 800 v/h for roads and ramps with a radius more than 20 meters. Empirical data showed that capacity between 1'100 and 1'300 v/h are possible if an unhindered traffic flow at junctions is ensured. However, the internal net of a parking site mostly is so dense, that junctions follow each other with little distance and significantly influence the traffic between. A capacity decrease of highly loaded t-nodes to 620 v/h is possible. The given capacity for roads and ramps between 500 and 800 v/h could be confirmed. Looking at closer radii for ramps no deeper values could be found, so that new a capacity between 400 and 600 v/h is given. The Swiss norm gave a value between 300 and 500 v/h.

Roadways

The capacities of roadways are not only depending on infrastructure elements but result from operational influences a combination of supply (basic capacity) and demand (reduction of capacity). The basic capacity of a roadway without parking activity is 700 v/h. With increasing parking activities the main stream will be more and more disturbed, resulting in a decrease of capacity. Without knowledge of composition of driving motives the capacity cannot clearly defined. An equal amount of parking and leaving cars assumed, the capacity is 360 v/h for single direction roadways. The value from the Swiss norm, 300-400 v/h could be confirmed. Roadways with two-way traffic showed a capacity up to 200 v/h, slightly higher than 100-150 v/h in the Swiss norm. The capacity is depending from the possibility to leave the parking site: is it possible to leave the parking site at both ends of

the roadway the higher value of capacity can be used.

Stacking area in front of entrance and exit

To avoid jamming in traffic flow in front of entrances and exits stacking areas should be designed in front of the despatch terminals. The length of the stacking area is depending on the despatch capacity (element of supply) as well as variations in intensity of inflow (element of demand). As for dimensioning reasons the maximum length of traffic jam is interesting. Correctly these could be from endless length, so that traffic jam lengths which are not exceeded with a high probability (85%) are used. The results of research differ very little from existing values in the Swiss norm. Solely near the capacity slightly higher differences were found. These can be constituted with used calculation method and the considered variations of despatch capacity as well as variations in intensity of inflow. In general stacking areas should not be dimensioned for capacity utilization of more than 80% because jam length increases significantly.

1 Einleitung

Die letzte Überarbeitung der Schweizer Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb erschien vor mehr als 25 Jahren im Jahr 1980. In der Zwischenzeit hat die Bewirtschaftung von Parkierungsanlagen mittels zufahrtskontrollierten Ein- und Ausfahrten markant zugenommen. Neue Abfertigungstechniken und Kontrollmedien sind auf den Markt gekommen, was Abfertigungszeiten wie auch die Angebotspalette grundsätzlich veränderten. Vor allem die Technik an den Abfertigungsanlagen hat sich weiterentwickelt, was beispielsweise am verstärkten Einsatz bargeldloser Medien wie Kreditkarten bemerkbar ist. Inwiefern sich die technische Entwicklung auf die Leistungsfähigkeit der Abfertigungssysteme auswirkt, war unter anderem eine Aufgabe dieser vorliegenden Forschungsarbeit. Aber nicht nur die technischen Aspekte waren zu überprüfen, so galt es generell die Leistungswerte aller Parkierungselemente neu zu bestimmen, um mögliche Veränderungen zu erkennen und schliesslich die Norm zu aktualisieren.

Parkierungsanlagen weisen lokal betrachtet ein internes Verkehrsnetz auf, das über Zu- und Wegfahrten an das übergeordnete Strassennetz erschlossen wird. Die Erschliessungen wie auch das interne Wegnetz setzen sich dabei aus einzelnen (Parkierungs)- Elementen zusammen, welche je nach deren Kombination und Anordnung die Gestaltung der Parkierungsanlage sowie das Gesamtsystem mitbestimmen. Zu den Parkierungselementen zählen unter anderem Abfertigungsanlagen, Fahrwege, Fahrgassen, Rampen bis hin zu Kassenautomaten.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Leistungsfähigkeiten der Parkierungselemente zu bestimmen sowie die Bemessungsgrundlagen zur Dimensionierung von Stauräumen zu erarbeiten. Die Ergebnisse wie auch die wichtigsten Erkenntnisse sollten in eine neue überarbeitete Norm einfließen.

2 Stand der Forschung

Mit der zunehmenden Bewirtschaftung des Parkplatzangebotes mittels kontrollierten Ein- und Ausfahrten wurden und werden unterschiedliche Abfertigungssysteme von Anlagen des ruhenden Verkehrs entwickelt. Um diese Anlagen zu systematisieren, den Verkehrsablauf zu beschreiben sowie Qualitätskriterien aufzustellen und Bemessungshinweise zu entwickeln bedarf es entsprechender Analysen und Studien.

Die ersten deutschsprachigen Ausführungen zu dieser Problematik gehen auf das Jahr 1971 zurück. Dunker macht entsprechende Untersuchungen zur Bemessung von Verkehrsflächen und Abfertigungsanlagen für Personenkraftwagen in Anlagen für den ruhenden Verkehr (Heft 123 der Reihe Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, 1971). Aktuelle Arbeitsgrundlagen liefern heute v.a. die Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV). Die Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs in der Ausgabe von 1991 enthalten Bestimmungen, Grundsätze und Hinweise für Planung, Entwurf, Bau und Betrieb von Parkierungsanlagen und –elementen. Die Ausführungen zu Nutzung und Betrieb von Anlagen des ruhenden Verkehrs beinhalten unter anderem die Darstellung der Zusammenhänge zwischen der Leistungsfähigkeit der Abfertigung, der Stärke des Zustroms und der erforderlichen Stauraumlänge. In Bezug auf die Leistungsfähigkeit der Abfertigung werden Richtwerte (Fahrzeuge/ Stunde bzw. Kunden/ Stunde) für die Einfahrt, für das Innere der Anlage (z.B. Kassieren am Kassenautomat) und bei der Ausfahrt angegeben. Die aktualisierte Fassung von 2005 (EAR 05) macht Angaben zu den Abfertigungszeiten und Kapazitäten an Abfertigungssystemen mit verschiedenen klassischen und modernen Kontrollmedien (Handkassierung, Chip- und Magnetstreifenkarten etc.).

Das Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen in den Ausgaben von 2001 und 2005 liefert ebenso einen Beitrag zu Abfertigungssystemen bei Anlagen des ruhenden Verkehrs. Die Ausführungen fokussieren hierauf auf den Teilbereich der Abfertigung an kontrollierten Ein- und Ausfahrten und lassen, unter bestimmten vereinfachenden Annahmen, Aussagen zur Qualität des Verkehrsablaufs zu (Qualitätsstufen A bis F) zu. Das Handbuch liefert alle grundlegenden Arbeitsschritte (Checkliste) und zugehörigen Formblätter zur Ermittlung der erreichbaren Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs. Anhand von Berechnungsbeispielen kann das methodische Vorgehen nachvollzogen werden. Daneben werden Fragen der Qualitätsbeurteilung von Parkierungsanlagen und der Erforschung weiterer Kenngrößen des Parkverhaltens als künftiger Forschungsbedarf aufgeführt.

Die Schweizer Norm SN 640 293 zum Parkieren von Personenwagen von 1997 enthält Richtwerte und Hinweise für die Abschätzung der betrieblichen Auswirkungen innerhalb und ausserhalb von Parkierungsanlagen. Neben den massgebenden Belastungen für die Einfahrt und Ausfahrt verschiedener Nutzungen des ruhenden Verkehrs (Warenhaus, Einkaufszentrum etc.) macht die Norm Aussagen zur Leistungsfähigkeit der Abfertigungselemente, Rampen, Fahrwege und Fahrgassen. Zur Bestimmung der erforderlichen Stauraumlänge dient ein Diagramm, das die Zufahrtsbelastung mit der Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage in Zusammenhang setzt.

Eine britische Studie "Parking: dynamic capacities of car parks" des Road Research Laboratory (Ministry of Transport) untersuchte die grundlegenden Zusammenhänge der Leistungsfähigkeit an Parkierungsanlagen. Es wurden die einzelnen Elementen von Parkierungsanlagen (Einfahrten, Ausfahrten, Rampen, Fahrgassen etc.) untersucht und auf der Grundlage von Beobachtungen und Messungen entsprechende Formeln für die Bemessung und Gestaltung aufgestellt. Damit sollen Planer und Architekten eine detaillierte Arbeitsgrundlage für die Umsetzung effizienter Parkierungsanlagen mit hoher Leistungsfähigkeit erhalten. Neben diesen übergreifenden Normhinweisen und Empfehlungen werden Massnahmen zur Optimierung einzelner Elemente von Parkierungsanlagen in der Verkehrswissenschaft diskutiert. Hier sind z.B. Untersuchungen zum Nutzen von Parkhaus-Leitsystemen zu nennen.

3 Parkierungselemente

3.1 Gliederung und Einordnung

Eine Parkierungsanlage kann in eine Vielzahl an Elementen gegliedert werden, welche in Bezug auf deren Kapazität unterschiedliche Werte aufweisen.

Welches Element unter welchen Bedingungen massgebend für die Projektierung einer Parkierungsanlage wird, soll in diesem einführenden Kapitel behandelt werden. Zunächst werden jedoch die einzelnen Parkierungselemente kurz erläutert. Die nachfolgende Abbildung gibt einen guten Überblick zur Lokalität und Anordnung der Parkierungselemente.

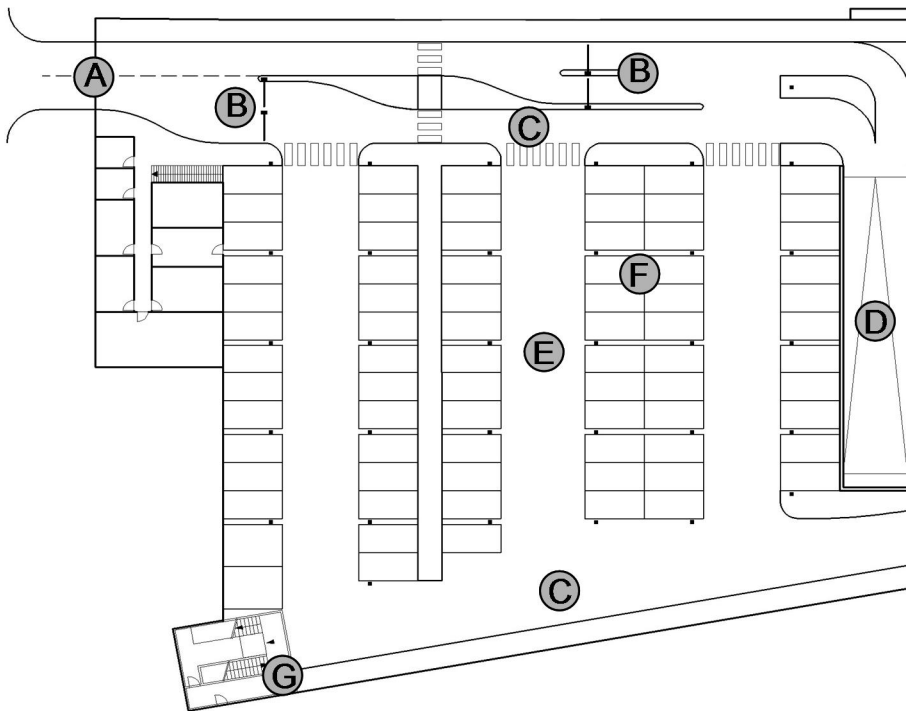


Abb. 3.1 Überblick zur Einordnung und Gliederung der Parkierungselemente

Abb. 3.2 Funktion und Zweck der einzelnen Parkierungselemente

Parkierungselement	Funktion	Zweck
A. Zu- / Wegfahrt	Anschluss an Strassennetz	Erschliessung der Parkierungsanlage, Stauraum
B. Abfertigungsanlage	Übergang externes / internes Wegnetz	Kontrolleinrichtung
C. Fahrwege	horizontale Verbindung	Erschliessung der Fahrgassen
D. Rampen	vertikale Verbindung	Erschliessung der Fahrgassen
E. Fahrgassen	horizontale Verbindung	Erschliessung der Parkfelder
F. Parkfeld	Wechsel: Fahrzeug ⇔ Fussgänger	Parkierung des Fahrzeuges
G. Kassen		Einrichtung der Parkgebühr

A. Zu- und Wegfahrt (Stauraum)

Die Zu- und Wegfahrtswege stellen das Bindeglied zwischen dem (übergeordneten) Strassennetz und dem internen Wegnetz der Parkierungsanlage dar. Für die Projektierung von Interesse dürfte vor allem die Länge der Zu- und Wegfahrtswege sein, da diese den zur Verfügung stehenden Stauraum vor der Abfertigungsanlage vorgeben. Weniger bedeutend in diesem Fall ist die Kapazität dieses Wegstückes, da die Leistungsfähigkeit kaum relevant für die Planung und durch andere Elemente beeinflusst wird (vgl. Verknüpfung von Parkierungselementen und deren Kapazitäten). Die Leistungswerte der Zu- und Wegfahrtswege entsprechen jenen der Fahrwege.

B. Abfertigungsanlage

Die Abfertigungsanlage ist eine technische Einrichtung (oft Schrankensystem), welche die ein- und ausfahrenden Fahrzeuge registriert, die Durchfahrt prüft sowie die Ein- und Ausfahrt freigibt. Sie ist bei der Planung einer Parkierungsanlage ein wesentliches Dimensionierungselement, insbesondere aufgrund der Durchflusskapazität.

C. Fahrwege

Als Fahrwege werden die internen Verbindungswege einer Parkierungsanlage bezeichnet. An Fahrwege grenzen keine Parkfelder an und stellen das im Parkhaus übergeordnete Verkehrsnetz dar. In der Regel bewegen sich auf den Fahrwegen keine Fussgänger.

D. Rampen

Auch die Rampen stellen einen internen Fahrweg dar und dienen zur vertikalen Verbindung zwischen zwei Geschossen.

E. Fahrgassen

Als Fahrgasse wird die Verkehrsfläche zwischen den Parkfeldern für Zu- und Wegfahrt sowie Manövrieren bezeichnet. Sie stellen das feingliederige Verkehrsnetz innerhalb der Parkierungsanlage dar. Auf und entlang Fahrgassen bewegen sich auch Fussgänger.

F. Parkfeld

Abgegrenzte Fläche, auf der ein Fahrzeug abgestellt werden darf.

G. Kassenautomaten

Kassenautomaten sind Geräte, an welchen gegen Bezahlung der Parkgebühr die Parkscheinausgabe für die Ausfahrt erfolgt.

3.2 Verknüpfung von Parkierungselementen

Alle Fahrzeuge, die sich in einer Parkierungsanlage bewegen, durchfahren mehrere Abschnitte verschiedener Parkierungselemente. Ankommende Fahrzeuge gelangen über die Zufahrt zur Abfertigungsanlage, werden dort bedient und verkehren auf internen Fahrwegen und Rampen schliesslich zu den Fahrgassen, entlang welchen sich die Parkfelder befinden.

Jedes dieser Parkierungselemente vermag eine bestimmte Menge an Fahrzeugen aufzunehmen, was durch die jeweilige Leistungsfähigkeit ausgedrückt wird. In der Abfolge ergeben sich somit Abschnitte unterschiedlicher Kapazitäten, welche je nach Anordnung der Parkierungselemente massgebend oder infolge der Dosierwirkung eines leistungsschwächeren Elementes unbedeutend werden. Zum Beispiel kann ein Fahrweg unmittelbar nach einer Abfertigungsanlage nicht leistungsrelevant werden, da die Abfertigungsanlage üblicherweise eine deutlich geringeres Leistungsvermögen als der Fahrweg aufweist.

Dieser Sachverhalt gilt es insbesondere bei der Konzipierung von neuen Parkierungsanlagen zu berücksichtigen. Der Planer hat unter anderem die Aufgabe die Parkierungselemente so miteinander zu verknüpfen, so dass ein bezüglich den Kapazitäten ausgewogenes Gesamtsystem entsteht, das lokal keine Engpässe aufweist. Dazu hat er vor allem die leistungsschwächsten Parkierungselemente zu beachten, denn diese bestimmen die Leistungsfähigkeit der Gesamtanlage und tragen hauptsächlich zu einem guten Funktionieren unter Betrieb bei.

Mit einer an die limitierenden Komponenten angepassten Bemessung können vereinzelt Kosten eingespart respektive Raum für ein erweitertes Parkplatzangebot geschaffen werden.

4 Abfertigungsanlagen an Ein- und Ausfahrten

4.1 Einleitung

Abfertigungsanlagen kommen durch ihre Kontrollfunktion vorwiegend bei bewirtschafteten Parkierungsanlagen zur Anwendung. Die Kontrolleinrichtungen – meist in Form von Schrankenanlagen - stellen den Übergang vom externen Strassennetz zu den internen Fahrwegen dar. Infolge des höheren Zeitbedarfs zur Erfassung und Kontrolle der Fahrzeuge resultieren im Vergleich zur freien Einfahrt geringere Leistungswerte, welche bei der Planung von Parkierungsanlagen zu berücksichtigen sind.

Die Anforderungen sind häufig so definiert, dass Verkehrsbehinderungen auf dem übergeordneten Strassennetz zu vermeiden sind. Die Fahrzeuge vor Parkhauseinfahrten sollen sich ausschliesslich in den vorgesehenen Stauräumen ansammeln. Zur Vermeidung von Engpässen im Gesamtsystem der Parkierungsanlage hat der Planer an den Ein- resp. Ausfahrten für ein ausreichendes Abfertigungsangebot zu sorgen, um dadurch ein ausgewogenes Verhältnis zum Zufahrts- resp. Wegfahrtsstrom (Nachfrage) zu erzielen.

Die Wechselwirkung von Zuflussintensität und Abfertigungsrate ist besonders bei der Dimensionierung der Stauräume, aber auch bei der Beurteilung der betrieblichen Abläufe, von hohem Interesse. Gelingt es nicht, die Abfertigungskapazität mit der Verkehrsnachfrage und dem zur Verfügung stehenden Stauräumen in Einklang zu bringen, so sind Verkehrsbehinderungen im internen wie auch im externen Strassenraum einschliesslich einer Verminderung der Verkehrsqualität die Folge. Leistungsstarke, optimal dimensionierte Abfertigungsanlagen tragen wesentlich zum guten Funktionieren von Parkierungsanlagen bei.

Allgemeine Einteilung von Abfertigungssystemen

Nach DUNKER¹ gibt es drei Hauptgruppen von Abfertigungssystemen des ruhenden Verkehrs, welche sich nach der Art und Weise der Ein- und Ausfahrtskontrollen der Parkierungsanlagen unterscheiden:

- Abfertigungssystem mit freier Ein- und Ausfahrt
- Abfertigungssysteme mit freier oder kontrollierter Ein- und Ausfahrt und
- Abfertigungssysteme mit kontrollierter Ein- und Ausfahrt

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurden vorwiegend Abfertigungssysteme mit kontrollierter Ein- und Ausfahrt behandelt. Leistungsfähigkeiten von Parkscheinautomaten, welche bei Abfertigungssystemen mit freier Ein- und Ausfahrt häufig zur Anwendung kommen, wurden indessen nicht untersucht.

Die IGS² unterteilt in ihrem Forschungsbericht die Hauptgruppe weiter nach der Parkentgeltberechnung und dem Kassieren des Parkentgeltes:

Parkentgeltberechnung:

- teilweise oder ganz durch Personal
- durch elektronische Geräte

¹ DUNKER, L., „Untersuchungen zur Bemessung von Verkehrsflächen und Abfertigungsanlagen für Personenkraftwagen in Anlagen für den ruhenden Verkehr“, Bonn, 1971.

² Ingenieurgesellschaft Stolz mbH, „Untersuchung des Verkehrsablaufs an Abfertigungssystemen von Anlagen des ruhenden Verkehrs“, Forschungsprogramm Stadtverkehr, Juli 2000.

Kassieren des Parkentgeltes:

- am Kassenautomaten
- an Kasse durch Personal
- während der Einfahrt durch Personal
- während der Ausfahrt durch Personal
- bargeldlos durch das Ausfahrtkontrollgerät

Bedeutung der Abfertigungskapazität im Planungsprozess

Die Kennwerte der Leistungsfähigkeiten von Abfertigungsanlagen nehmen im Planungsprozess von Parkierungsanlagen eine zentrale Rolle ein. Sie bestimmen im Wesentlichen durch ihre Vorgaben die Wahl des Abfertigungssystems wie auch die Dimensionierung sowohl der Abfertigungsanlage als auch des Stauraumes.

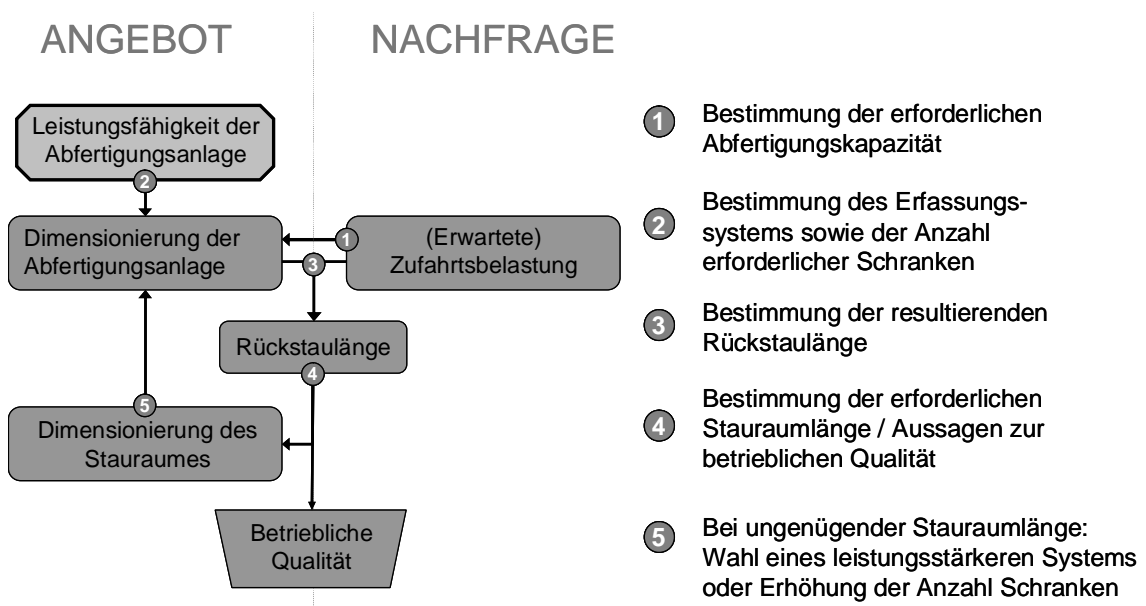


Abb. 4.3 Planungsschritte und Zusammenhänge bei der Dimensionierung von Ein- und Ausfahrtsanlagen

Die Planungsschritte zur Bestimmung und Dimensionierung der Ein- und Ausfahrtsanlagen laufen in der Regel wie folgt ab: Zunächst ist anhand der zu erwartenden Verkehrsnachfrage (1) die erforderliche Abfertigungskapazität zu bestimmen. Dieser Kennwert fließt in die Dimensionierung der Abfertigungsanlage ein. Um keine erheblichen Rückstaubildungen vor den Abfertigungsanlagen zu riskieren, soll grundsätzlich die Abfertigungsleistung rund 20% über der massgebenden Verkehrsnachfrage liegen. Aus dieser Anforderung ergibt sich ein erster Anhaltspunkt, welche Erfassungssysteme sich anbieten könnten (vorausgesetzt dieses ist noch nicht festgelegt). Mit dem Wissen der Leistungsfähigkeiten der einzelnen Erfassungssysteme (2) lässt sich die Anzahl der erforderlichen Ein- resp. Ausfahrten bestimmen. (3) Schliesslich kann anhand eines Vergleichs von Angebot (Abfertigungsleistung) und Nachfrage (Nachfragekurve, Ganglinie, Zufahrtsverteilung) die zu erwartende Rückstaulänge bestimmt werden. In einem weiteren Schritt (4) wird die erforderliche Stauraumlänge bestimmt. Ist die effektive Stauraumlänge bestimmt (Angebot), können Aussagen zur Funktionstüchtigkeit wie zur betrieblichen Qualität der Einfahrtsanlage gemacht werden. (5) Sollte sich zeigen, dass die erforderliche Stauraumlänge nicht angeboten werden kann, so kann in einem iterativen Prozess entweder ein leistungsfähigeres System gewählt oder die Anzahl der Abfertigungsschranken und somit die Anzahl der Einfahrten erhöht werden. Schliesslich sind erneut die zu erwartenden Staulängen zu bestimmen, womit sich der Iterationskreis schliesst.

4.2 Systembeschreibung

Gesamtsystem Parking Ein-/Ausfahrt

Als Parking Einfahrt wird jener Abschnitt ab dem übergeordneten Strassennetz bis zum Parking internen Verkehrsnetz bezeichnet. Gleiches gilt für Parking Ausfahrten in umgekehrter Abfolge. Die Parking Ein-/Ausfahrt kann je nach Funktion in einen Zufahrts-, Abfertigungs- und Anschlussabschnitt gegliedert werden. Während die Zufahrts- und Anschlussabschnitte die Funktion der Erschliessung wie auch jene des Stauraumes haben, hat der Abschnitt der Abfertigung die Aufgabe der Bedienung und Kontrolle.

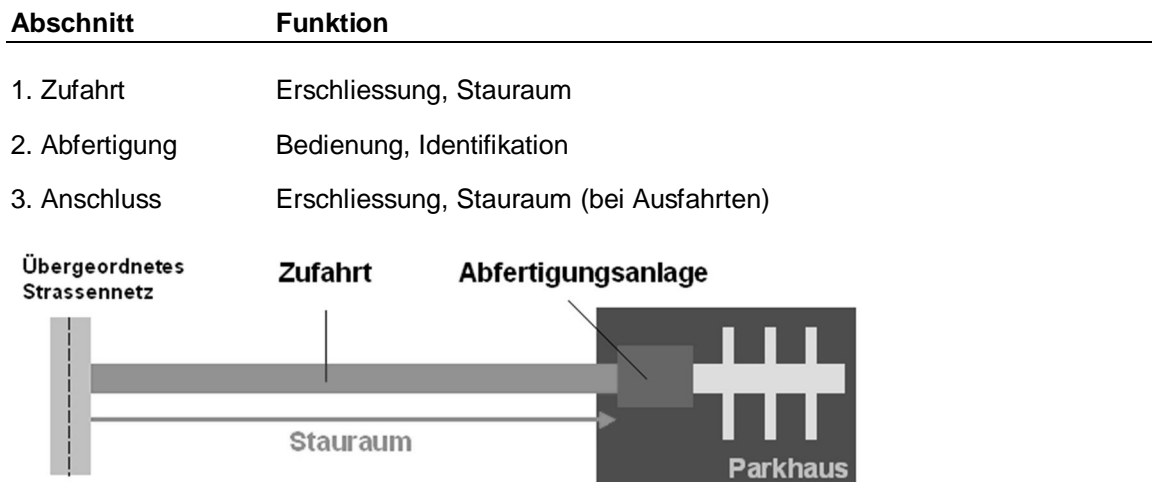


Abb. 4.4 System einer Parking Ein- / Ausfahrt

Werden die Abschnitte hinsichtlich deren Kapazitäten bewertet, so liegt es auf der Hand, dass der Abfertigungsabschnitt bei angemessener Dimensionierung im Kontext des Gesamtsystems als massgebendes Leistungselement zu beurteilen ist. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Kapitel ausschliesslich auf diesen Abschnitt eingegangen. Die Betrachtung des Stauraumes im Zufahrtsabschnitt (für Einfahrten) sowie im Anschlussbereich (für Ausfahrten) werden gesondert im Kapitel 8 behandelt.



Abb. 4.5 Unterschiedliche Kapazitäten der einzelnen Abschnitte einer Parking Ein-/ Ausfahrt

Abfertigungsanlage

Eine Abfertigungsanlage weist generell ein oder mehrere Bediengeräte (Ticketgeber/-leser) als Identifikationseinrichtung sowie eine/ mehrere Schrankenanlagen als Vorhalteeinrichtungen auf.

Die Prozesse wie auch das Systemverhalten vor Abfertigungsanlagen können mit der Warteschlangentheorie (auch bekannt als Bedienungstheorie), welche sich mit der mathematischen Analyse von Systemen befasst, in denen Aufträge von Bedienstungen bearbeitet werden, umschrieben werden. Schematisch betrachtet übernimmt der Ticketgeber/ -leser die Rolle der Bedienstung, während die ein- und ausfahrenden Fahrzeuge die Kundschaft darstellen. Im Bedienprozess hat der Warteraum eine zentrale Bedeutung, dargestellt durch den Stauraum vor

den Schrankenanlagen.

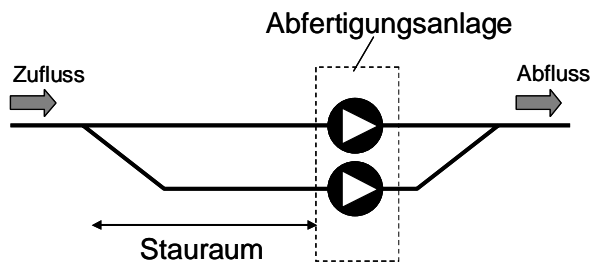


Abb. 4.6 Wartesystem

Grundsätzlich besteht ein Wartesystem aus einem Bedienbereich, in dem ein oder mehrere Bedienungsstationen Aufträge bearbeiten, und einem Warteraum, in dem eintreffende Aufträge bei aktuell nicht freien bzw. verfügbaren Serviceeinheiten auf die Bedienung warten. Abgefertigte Aufträge verlassen das System.

Leistungsfähigkeit einer Abfertigungsanlage

Die Leistungsfähigkeit einer Abfertigungsanlage entspricht der maximal möglichen Anzahl Fahrzeuge, die pro Stunde die Anlage passieren können.

Dabei bestimmt die Abfertigungszeit der einzelnen Fahrzeuge wesentlich die Leistungsfähigkeit der Gesamtanlage. Die Abfertigungszeit wird durch technische Aspekte sowie durch das individuelle Verhalten der Fahrzeuglenker geprägt und setzt sich aus einzelnen Zeitsequenzen zusammen. Die nachfolgende Auflistung möglicher Zeitabschnitte soll verdeutlichen wie vielfältig der Abfertigungsprozess sein kann:

Zeitbedarf für

- die Anfahrt ab einem definierten Querschnitt zum Bediengerät
- die Bedienung (Anforderung des Parktickets, Einschub Park-/Kreditkarte)
- die technische Bearbeitung (Identifikation, Registrierung)
- die Entgegennahme des Tickets
- die Schrankenöffnung
- An- und Wegfahren
- die Schrankenschließung

Speziell zu beachten gilt es, dass die Zeitsequenzen der einzelnen Tätigkeiten sich zeitlich überlagern können, was die Verknüpfung und Interpretation der Folgezeiten erschwert. So kann beispielsweise ein Folgefahrzeug bereits zum Bediengerät vorfahren während sich die Schranke nach dem Vorderfahrzeug schließt.

Weg-Zeit-Diagramm einer Parking Einfahrt

Um die Prozesse vor den Abfertigungsanlagen sowie deren Auswirkungen zu verdeutlichen wurden die einzelnen Abläufe in einem Weg-Zeit-Diagramm dargestellt (vgl. Abbildung 4.7). Als Beispiel gelangen fünf Fahrzeuge in kurzen Zeitlücken ($\Delta t_{zu,x}$) zur Parking Einfahrt. Infolge der im Vergleich zum Abfluss höheren Zufahrtsrate kommt es vor der Abfertigungsanlage zu einer Rückstaubildung. Das Weg-Zeit-Diagramm zeigt schön auf, wie die einzelnen Fahrzeuge zu dem jeweils vorangehenden Fahrzeug aufschließen, warten und bei gegebener Zeit in der Warteschlange nachrücken. Die Abbildung verdeutlicht auch, dass die Verteilung des Zufahrtsstromes ($\Delta t_{zu,x}$) sich infolge der Dosierwirkung der Abfertigungsanlage stark von der Verteilung des Wegfahrtsstromes ($\Delta t_{weg,x}$) unterscheiden kann. Diese Erkenntnis war besonders bei der Festlegung des Erhebungskonzeptes wertvoll. Während die Verteilung des Wegfahrtsstromes ein Indikator der Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage ist, bestimmt die Zufahrtsverteilung massgebend die Entwicklung des Rückstaus.

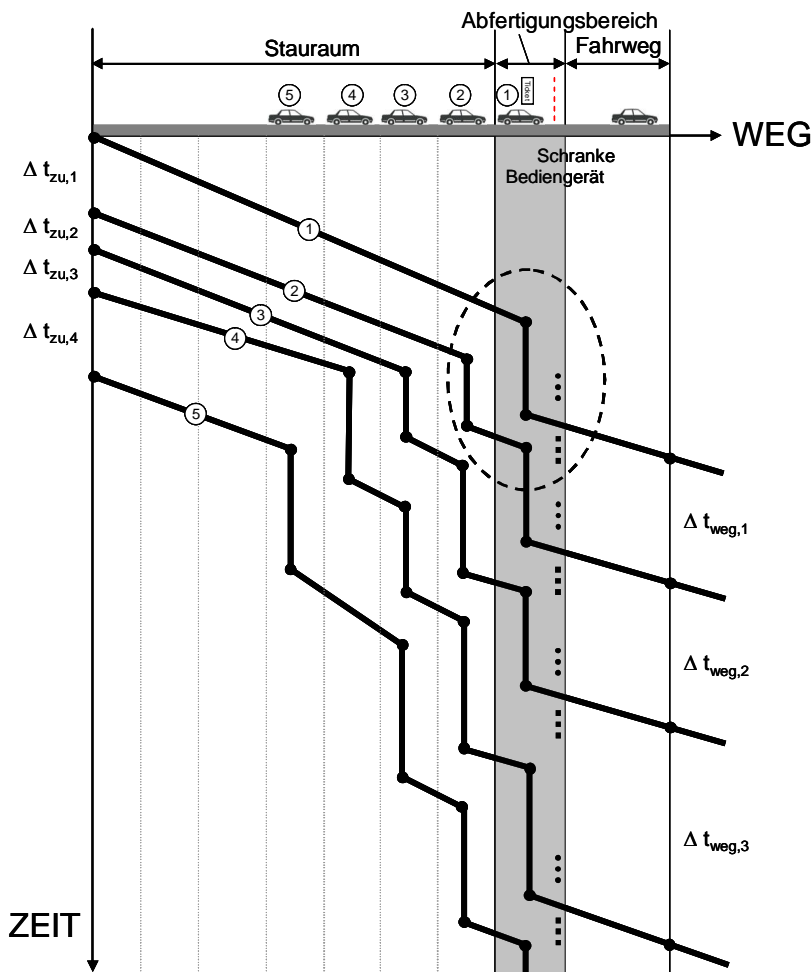


Abb. 4.7 Weg-Zeit-Diagramm einer Parking Einfahrt

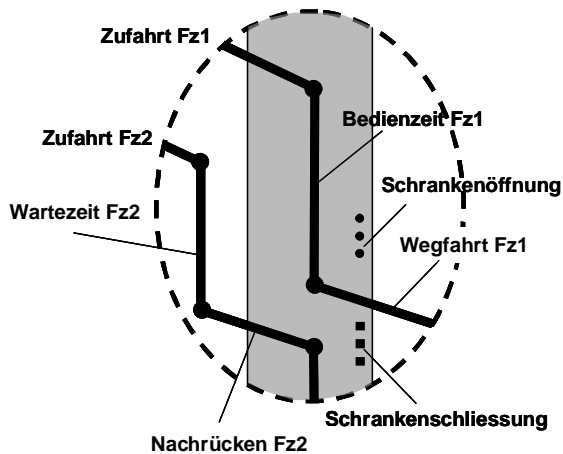


Abb. 4.8 Ausschnitt: Abfertigungsbereich

Die Abbildung 4.8 zeigt einen Bildausschnitt des Weg- Zeit Diagramms (Abb. 4.7) und stellt den Abfertigungsbereich mit folgenden Prozessabläufen dar: Das Fahrzeug 1 fährt vor den Ticketgeber. Ab dem Zeitpunkt, an dem das Fahrzeug steht beginnt die Bedienzeit 1, in welcher der Fahrer den Knopf drückt sein Ticket zu lösen. Während des technischen Prozesses zur Registrierung und Ticketausgabe fährt ein zweites Fahrzeug zu und reiht sich hinter dem Fahrzeug 1 ein. Hat der Fahrer sein Ticket entgegen genommen öffnet sich die Schranke. Der Fahrer steckt währenddessen sein Parkticket ein und setzt sein Fahrzeug in Bewegung. Ab dem

Zeitpunkt des Losfahrens endet die Bedienzeit 1. Während das Fahrzeug 1 in die Parkierungsanlage einfährt kann das Fahrzeug 2 nachrücken und zum Ticketgeber vorfahren. Im selben Zeitabschnitt schliesst sich die Schranke.

Obwohl der beschriebene Ablauf nur eine vereinfachte Situation darstellt, können dennoch wichtige Aussagen bezüglich der Abläufe im Bereich der Abfertigungsanlagen bzw. zur Bestimmung der Leistungsfähigkeiten gemacht werden:

- Anhand der Bedienzeiten kann noch nicht auf die Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage geschlossen werden.
- Die Wirkungen durch das Nachziehen der Fahrzeuge bei der Vorfahrt zum Ticketgeber sind in die Leistungsberechnungen mit zu berücksichtigen.
- Das Verhalten von Einzel- und Folgefahrzeugen dürfte aufgrund der individuellen Aufmerksamkeit / Bereitschaft unterschiedlich sein.
- Die individuelle Handhabung (Geschicklichkeit) ist ein massgebender Faktor der Bedienzeit und wirkt sich somit auf die Leistungsfähigkeit aus.
- Die Zeitdauer für technische Prozesse wird je nach Technik unterschiedlich ausfallen, die Abweichungen dürften aber im Vergleich zur Streuung der individuellen Bedienzeiten untergeordnet sein (Hypothese).

4.3 Begriffe

Abfertigungszeit

Die Abfertigungszeit ist der Zeitunterschied zwischen der Ankunft eines Fahrzeuges vor der Schranke eines Abfertigungssystems und dem Schliessen der Schranke nach der Durchfahrt dieses Fahrzeuges.

Einzelfahrzeug

Fahrzeug, das ungestört bis zur Abfertigungsanlage vorfährt und unmittelbar den Abfertigungsvorgang beginnt.

Folgefahrzeug

Fahrzeug, das den Abfertigungsvorgang nach einer Verweildauer in einer Warteschlange beginnt.

4.4 Massgebende Kenngrössen

Einflussfaktoren auf die Abfertigungszeit

Die Abfertigungszeiten werden durch technische Prozesse wie auch durch individuelle Handlungen der Benutzer bestimmt. Beide Aspekte können zusammen mit dem betrieblichen Faktor nach folgenden drei Einflussklassen gegliedert werden:

- I. **Anlageparameter [Bau / Mechanik / Technik]**
- II. **Kundenparameter [Mensch]**
- III. **Nachfrageparameter [Betrieb]**

I. Anlageparameter [BAU / MECHANIK / TECHNIK]	
Geometrie der Anlage (Baulicher Aspekt)	Die Geometrie der Ein-/Ausfahrt, insbesondere die horizontale und vertikale Linienführung, kann einen Einfluss auf die Zu- resp. Wegfahrt haben und somit die Aufenthaltszeit im Abfertigungsraum verlängern. So sind vielfach bei Schrankenanlagen, welche unmittelbar nach Kurven angeordnet werden, längere Manövrierzeiten zu beobachten. Vereinzelt kommt es sogar dazu, dass Fahrzeuglenker ihr Fahrzeug erneut zurücksetzen müssen, um näher an das Bediengerät heranzufahren. Ebenso sind bei Schrankenanlagen, welche im Rampenbereich angeordnet sind, längere Aufenthaltszeiten auszumachen, dies vor allem aufgrund der längeren Anfahrtszeit bei steilen Rampen.
Schrankensystem / Hersteller (Gerätetechnik)	Die Bedienzeit am Kontrollgerät setzt sich aus einer individuell vom Geschick des Benutzers beeinflussten Zeitdauer, einer technischen sowie mechanischen Zeit zusammen. Der Zeitbedarf für die Mechanik, wie im vorliegenden Fall für die Schrankenanlage, ist geräteabhängig. Dazu ist zu bemerken, dass die Auswahl an Schrankensystemen sehr vielfältig ist und die unterschiedlichsten Produkte auf dem Markt sind. Ein Unterscheidungsmerkmal einer Schranken ist beispielsweise die Länge des Auslegers und/oder die Anzahl deren Gelenke, was sich bei den Hub- und Schliesszeiten bemerkbar macht und schliesslich leistungsrelevant ist. Je nach Gerätetyp unterscheiden sich die von den Herstellern angegebenen technischen Daten der Schrankenanlagen. Auch wenn die zeitlichen Unterschiede für vergleichbare Schrankentypen geringfügig sind, kann die Wahl des Herstellers ebenso einen Einfluss auf die Abfertigungszeit haben wie das Schrankensystem selbst.
Datenträger (Kontrollmedium)	Die technische Bedienzeit ergibt sich durch die Bedien- und Prüfprozesse und ist ebenfalls von der Gerätetechnik, insbesondere der Auswahl der Datenträger, abhängig. Auch hier gibt es auf dem Markt sehr unterschiedliche Produkte: Lochkarten, Magnetstreifentickets in Mittel- oder Seitenlage, Barcodetickets, Kredit- und Debitkarten um einige zu nennen. Je nach Datenträger sind an den Bediengeräten unterschiedliche Kontroll- und Prüfzeiten zu erwarten, welche als Einflussfaktoren auf die Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage gelten.
II. Kundenparameter [MENSCH]	
Fahrkunst	Die Fahrkunst des Fahrzeuglenkers wirkt sich bei den Zu- und Wegfahrtszeiten aus. Vereinzelt kann beobachtet werden, dass Fahrzeuglenker ihr Fahrzeug neu ausrichten müssen, um das Bediengerät zu erreichen. In diesen Fällen erhöht sich die erforderliche Bedienzeit erheblich.

II. Kundenparameter [MENSCH]	
Präsenz / Bereitschaft	Die Präsenz der Fahrzeuglenker oder Bereitschaft eine anstehende Tätigkeit zu verrichten hat einen Einfluss auf die Bedienzeit. So kann beispielsweise das Herunterlassen des Fensters vor dem Erreichen des Bediengerätes als eine Vorbereitungsarbeit bezeichnet werden, welche den Abfertigungsvorgang zum relevanten Zeitpunkt nicht zusätzlich verlängern. Weitere Beispiele sind: Verständnis der Gerätebedienung (Knopfdruck etc.), Ticket bereit halten, etc.
Reaktionszeit	Während der Anfahrt im Stauraum (bei vorhandener Kolonne) wie auch bei der Abfertigung laufen diverse Prozesse ab, auf welche der Fahrzeuglenker zu gegebener Zeit reagieren muss. Diese Reaktionszeit fällt je nach Individuum sehr unterschiedlich aus und macht sich bei der Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage bemerkbar.
Handling	Ein weiterer Aspekt ist das Handling von Kontrollmedien. Hier kann die Ausrichtung der Karte beim Einschieben in das Kontrollgerät ebenso einen Einfluss auf die Abfertigungszeit haben wie das Entgegennehmen und Verstauen der Karte. Bei letzterem Vorgang können die unterschiedlichsten Tätigkeiten beobachtet werden: Am Häufigsten werden die Parktickets in den Mund genommen, was vermutlich durch den geringen Zeitbedarf zu erklären ist. Andere wiederum verstauen ihr Parkticket im Portemonnaie oder irgendwo im Fahrzeug, was entsprechend zeitaufwendig ist.
Benutzertyp	Die Kenntnis der Parkierungsanlage kann ebenfalls einen Einfluss auf die Abfertigungszeit haben. So dürfte diese bei Pendlern, welche täglich eine bestimmte Parkierungsanlage aufsuchen, deutlich kürzere sein als dies beispielsweise bei Ortsunkundigen Touristen der Fall sein dürfte. Zu bemerken ist, dass dieser Faktor bereits zu einem Teil in der Präsenz/Bereitschaft wie auch beim Handling mitberücksichtigt ist.
III. Nachfrageparameter [BETRIEB]	
Einzel- / Folgefahrzeuge	Die Gegebenheit, ob ein Fahrzeug alleine oder in einer Reihe die Abfertigungsanlage passiert hat einen Einfluss auf die Abfertigungszeit. Ein Grund hierfür könnte sein, dass bei sogenannten Folgefahrzeuge die Fahrzeuglenker länger Zeit haben sich auf die anstehenden Prozesse vorzubereiten, kurzum ihre Präsenz/Bereitschaft zu erhöhen. Zudem besteht für die Fahrzeuglenker im Vorderfahrzeug ein bestimmter Handlungsdruck, so dass beispielsweise Parktickets nicht zeitraubend im Portemonnaie verstaut sondern häufiger in den Mund genommen werden.

4.5 Datenträger / Kontrollmedien

In bewirtschafteten Parkingsystemen kommen Schreib- und Leseeinheiten zur Anwendung, die ein oder mehrere Datenträger, vom Papierticket bis zur Kreditkarte, verarbeiten können. Die Auslegung des Datenträgers ist einerseits durch die gewählte Gerätetechnik und andererseits durch die Anforderungen an Bezahlungsmöglichkeiten bestimmt.

Die klassische Bewirtschaftungsform ist der Bezug eines Parkingtickets an der Einfahrt mit Bezahlung am Kassenautomaten. Als Ergänzung werden heute häufig Systeme angeboten, welche zum Parkingticket (Basisangebot) auch Kreditkarten verarbeiten können. Der Vorteil bei der Anwendung von Kreditkarten an den Abfertigungsanlagen ist, dass das Parking ohne Bezug eines Parkingtickets an der Einfahrtstation und ohne Gang zum Kassenautomaten benützt werden kann. In der Tabelle sind die wichtigsten Datenträgertypen aufgelistet, welche nachfolgend noch detaillierter erläutert werden:

Datenträger (Kontrollmedien)	
Magnetstreifentickets	- Mittellagetechnik - Seitenlagetechnik
Chipkarten	- Kontaktbehafte Chipkarten (u.a. ec-CASH) - Kontaktlose Chipkarten
Barcodekarten	
Lochkarten	
Parkchips / Coins	
Kreditkarten	- MasterCard/Eurocard, VISA, American Express, Diners etc.
Debitkarten	- ec-Direkt - (ec-CASH)
Magnetschlüssel	-

Abb. 4.9 Übersicht zu den Datenträgertypen

4.5.1 Magnetstreifenkarten

Die Magnetstreifenkarte ist die am weitesten verbreitete Karte mit einem Datenspeicher. Die Magnetkarte wird mit einem metallisierten Streifen versehen, der mit Daten über Magnetcodierer beschrieben und über entsprechende Lesegeräte ausgelesen werden kann. Unterschieden werden Magnetstreifenkarten nach deren Anordnung des Magnetstreifens, der in der Mitte der Karte oder seitlich (asymmetrisch) angebracht sein kann. Im Fachjargon spricht man Magnetstreifenkarten mit Mittellage- resp. Seitenlagetechnik. Während es bei der Mittellagetechnik eine einzige Einschubmöglichkeit gibt (= eindeutige Erkennung), sind bei der Seitenlagetechnik vier beliebige Einschubmöglichkeiten am Bediengerät möglich. Die Eindeutigkeit der Handhabung lässt bei Magnetstreifentickets in Mittellage kürzere Abfertigungszeiten als bei solchen mit Seitenlagetechnik erwarten. Um die Handhabung von Karten mit Seitenlagetechnik zu verbessern, werden häufig Richtungspfeile aufgebracht.



Abb. 4.10 Magnetstreifenkarte mit Seitenlagetechnik

4.5.2 Chipkarten

Je nach Funktion der eingesetzten Karten kann zwischen kontaktbehafteten und kontaktlosen Chipkarten unterschieden werden.

Kontaktbehaftete Chipkarten

Kontaktbehaftete Chipkarten beinhalten ein sichtbares Chipmodul, das über Kontaktflächen auf der Chip-Oberseite kontaktiert und damit beschrieben bzw. ausgelesen werden kann. Für die Anwendung in Parkings kommt diese Kartenform nur in Zusammenhang mit der bargeldlosen Bezahlung (z.B. ec-CASH) vor. Mit ein Grund, dass an der Einfahrt keine kontaktbehafteten Chipkarten herausgegeben werden, ist die geringe Wirtschaftlichkeit der deutlich teureren Chipkarten, welche zudem mehrfach genutzt werden müssten und dadurch weiterer organisatorischer Aufwand entstünde.

Kontaktlose Chipkarten

Kontaktlose Chipkarten benötigen im Gegensatz zu kontaktbehafteten Chipkarten keinen physischen Kontakt zwischen Modul und Lese- oder Schreibereinheit. Diese Transponderkarten oder RFID-Karten vollziehen die Übertragung der gespeicherten Daten über eine in der Karte integrierte Antenne, die mit dem Chipmodul verbunden ist. Da kontaktlose Chipkarten deutlich preiswerter sind können diese auch als Einwegkarten eingesetzt werden und bieten sich dadurch für die Anwendung von bewirtschafteten Parkieranlagen an.



Abb. 4.11 Chipkarten Typen: Kontaktbehafteter Chip (links); Kontaktlose Chipkarten (rechts)

4.5.3 Barcodekarten / Lochkarten

Barcodekarten sind die Basiskarten der maschinenlesbaren Identifikationskarten. Über den aufgetragenen Strichcode, den Barcode, lässt sich eine darin verschlüsselte Nummer mit Hilfe eines Scanners auslesen. Der Barcode kann sowohl numerisch als auch alphanumerisch aufgebaut sein. Er setzt sich aus unterschiedlich breiten Zwischenräumen und deren schwarzen Begrenzungsbalken zusammen. Entscheidend für die Lesbarkeit des Barcodes sind Höhe der Auflösung, Ruhezeiten und der Kontrast zum Hintergrund.



Abb. 4.12 Barcode, Barcodekarte, Lochkarte

Ähnlich wie die Barcodekarten funktionieren Lochkarten: Anstelle des Barcodes liest der Scanner ein Lochmuster ein und kann dadurch die Karte eindeutig identifizieren.

4.5.4 Parkchips

Das Einwerfen eines Parkchips (Coin) am Einfahrtskontrollgerät stellt eine weitere Form zur Überprüfung der Zutrittslaubnis dar. Diese Variante kommt bei öffentlichen Parkieranlagen kaum oder nur in Kombination mit anderen Systemen zur Anwendung, da die Kundschaft bereits im Vorfeld im Besitz der erforderlichen Parkchips sein muss.

Mit dem Parkchip wird lediglich eine Zutritts-erlaubnis erlangt. Da keine Zeitwerte erfasst werden, eignet sich dieses System kaum zur Bewirtschaftung von Parkierungsanlagen. Eine Anwendungsmöglichkeit bietet sich beispielsweise dann, wenn in einer Parkierungsanlage für eine bestimmte Kundengruppe reservierte Parkplätze zur Verfügung stehen (ähnlich wie bei Mietparker) und der Zutritt vom Basissystem entkoppelt werden soll. Ein Beispiel hierzu kann sein, dass ein Hotel in der Innenstadt Parkchips an ihre Gäste abgibt, so dass diese in ein öffentliches Parkhaus mit für das Hotel reservierten Parkplätzen einfahren können.



Abb. 4.13 Parkchips finden in öffentlichen Parkierungsanlagen kaum Anwendung

4.5.5 Kreditkarten

Als Ergänzung zum klassischen Parkticketsystem mit Zahlung an einem Kassenautomaten und Rückgabe des Parktickets, kommen zunehmend auch Systeme zum Einsatz, bei denen keine Parktickets mehr gebraucht werden und der Gang zur Kasse entfällt. Als Parkticketersatz können Kreditkarten verwendet werden, welche sowohl an der Ein- als auch an der Ausfahrtsstation eingelesen werden müssen. Der Kunde hat zur Registrierung und Identifikation seine persönliche Karte beim Abfertigungsprozess bereit zu halten, was zusammen mit der Bedienzeit bei der Leistungsberechnung zu berücksichtigen ist. Der Abrechnungsprozess hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Abfertigungszeit: So gibt es Systeme, welche bei der Einfahrt die Gültigkeit der Kreditkarten überprüfen (sogenannte online Systeme), was entsprechend längere Bearbeitungszeiten zur Folge hat, da das Kontrollgerät mit einem Rechencenter der Kreditkartenfirmen verbunden sein muss. Andere System schreiben bei der Einfahrt lediglich Daten heraus und überprüfen die Karte zu einem späteren Zeitpunkt. Man spricht dann von off-line Systemen, welche den Vorteil haben, dass sie deutlich leistungsstärker sind.

An der Ausfahrt wird die Parkinggebühr automatisch dem Konto der Karte belastet. Aus Zeitgründen wird auf die Eingabe des PIN-Codes verzichtet. Wird vom Kunden eine Parkquittung verlangt, verlängert sich der Abfertigungsvorgang zusätzlich.

Eine weitere Möglichkeit des Kreditkarteneinsatzes ergibt sich am Kassenautomaten: Parkingbenutzer, welche an der Einfahrtstation ein Parkingticket bezogen haben, können dieses häufig auch am Kassenautomaten mit einer Kreditkarte bezahlen.



Abb. 4.14 Kreditkarten zur bargeldlosen Bezahlung am Kassenautomaten oder an der Ausfahrt

4.5.6 Debitkarten

Eine Debitkarte ist eine Karte, die zur bargeldlosen Bezahlung eingesetzt werden kann. Im Unterschied zu Kreditkarten wird nach der Bezahlung das Konto des Karteninhabers sofort belastet (debitiert).

An Parkingeinfahrten ist der Einsatz von Debitkarten nicht zweckmässig, da die Eingabe eines PIN-Codes mit einer online Autorisierung zwingend erforderlich ist und die Abwicklungsdauer nicht tragbar ist. Hingegen können die an der Einfahrt bezogenen Parktickets am Kassenautomaten mit Debitkarten (wie beispielsweise ec-direkt) bezahlt werden.



Abb. 4.15 Debitkarte mit kontaktbehafteten Chip zur bargeldlosen Bezahlung am Kassenautomaten

4.6 Modellierung des Abfertigungsprozesses

Der Bedien- oder Abfertigungsprozess findet unmittelbar am Abfertigungsgerät statt. Bei Vorhandensein einer Fahrzeugkolonne haben die zufahrenden Fahrzeuge eine Warteschlange zu durchfahren. Ansonsten können die Fahrzeuge direkt zum Abfertigungsgerät vorfahren. Die Prozesse in der Warteschlange/Stauraum werden in diesem Bericht gesondert im Kapitel 8 Stauraum vor Ein- und Ausfahrten behandelt.

Der Abfertigungsprozess bei vorübergehendem Aufenthalt in einer Warteschlange kann in folgende Einzelvorgänge gegliedert werden:

- Vorfahrt zum Abfertigungsgerät (Einfahrt in den Beobachtungskorridor)
- Bedienung am Abfertigungsgerät (Aufenthalt im Beobachtungskorridor)
- Wegfahrt inkl. Schrankenschließung (Verlassen des Beobachtungskorridors)

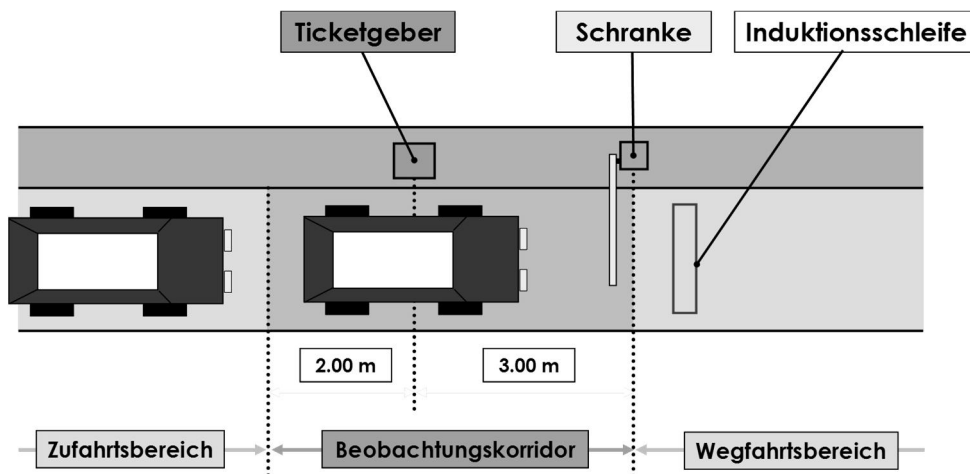


Abb. 4.16 Abgrenzung des Abfertigungsraumes anhand der definierten Einzelvorgänge

4.7 Empirische Untersuchungen

Die Abwicklungszeit bei der Ein- und Ausfahrt wird durch technische Prozesse wie auch durch individuelle Handlungen der Benutzer bestimmt. Anhand empirischen Untersuchungen wurde versucht, die einzelnen Abfertigungszeiten zu bestimmen, um daraus die Leistungswerte je nach Abfertigungsspezifikation abzuleiten.

Nachfolgend wird zunächst auf die Methodik bei der Erfassung der Abfertigungszeiten an der Schrankenanlage eingegangen. Danach werden die Ergebnisse der nach Datenträger unterschiedenen Erhebungssysteme einzeln behandelt und diskutiert.

4.7.1 Methodik

Die Durchflusskapazität einer Schrankenanlage kann anhand der mittleren Folgezeitlücke der einfahrenden Fahrzeuge bestimmt werden. Im Rahmen der Erhebungen wurden jeweils die Zeitpunkte der Schrankenschliessungen erfasst. Zu beachten gilt es dabei, dass die Folgezeitlücke zum nächsten Fahrzeug deutlich länger sein kann. Nämlich dann, wenn das nachfolgende Fahrzeug zuvor nicht in einer Fahrzeugfolge im Stauraum stand, sondern direkt an das Abfertigungssystem vorgefahren ist. Dieser Sachverhalt ist bereits von der IGS im Schlussbericht „Untersuchungen des Verkehrsablaufs an Abfertigungssystemen von Anlagen des ruhenden Verkehrs“ [1] erkannt und beschrieben worden. Die Konsequenz daraus war, dass Einzel- und Folgefahrzeuge zu unterscheiden waren. Dazu wurde wie folgt vorgegangen:

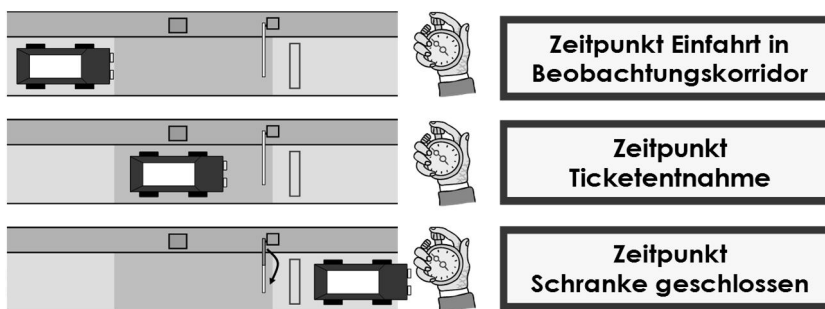


Abb. 4.17 Erfassungszeitpunkte bei Einzelfahrzeugen

Zwecks Analyse des Abfertigungsprozesses waren auch die relevanten Zeitpunkte der Teilschritte zu erfassen. So wurden weiter auch die Zufahrtszeiten in einen zuvor definierten Abfertigungsraum (Beobachtungsraum) wie auch die Zeitpunkte zu Beginn der Gerätebedienung wie auch jene der Schrankenschliessungen erhoben.



Abb. 4.18 Erfassungszeitpunkte bei Folgefahrzeugen

4.7.2 Untersuchungsumfang

Die Erhebungen zu den Abfertigungszeiten an den Ein- und Ausfahrten fanden insgesamt an 10 Standorten (3 Basel, 4 Bern, 2 Zürich, 1 Flughafen Zürich Kloten) statt. Bis auf wenige Ausnahmen wurden an allen Standorten jeweils die Abfertigungszeiten von der Ein- als auch von der Ausfahrt erhoben. Die Erhebungen fanden in der Regel zu Verkehrsspitzenzeiten statt und dauerten rund eine Stunde; vereinzelt wurde auch während 90 Minuten die Abfertigungszeiten erfasst. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den Erhebungsstandorten sowie den dort angewendeten Datenträger an.

Erhebungsstandorte	Datenträger	Bemerkungen
Parkhaus Elisabethen, Basel	Lochkarten (Kreditkarten) ¹	Monats- und Saldokarten sowie Dauerkarten verfügbar
Parkhaus City, Basel	Lochkarten (Kreditkarten) ¹	Monats- und Saldokarten sowie Dauerkarten verfügbar
Parkhaus Steinen, Basel	Lochkarten (Kreditkarten) ¹	Monats- und Saldokarten sowie Dauerkarten verfügbar
Parking BEA Expo Bern, Bern	Lochkarten Kreditkarten	Dauerkarten (Mieter)
Parkhaus Metro, Bern	Magnetstreifenkarten (Seitenlagetechnik) Kreditkarten	Dauerkarten (Mieter)
Park+Ride Neufeld, Bern	Magnetstreifenkarten (Seitenlagetechnik) Kreditkarten	Dauerkarten (Mieter)
Bahnhof Parking, Bern	Magnetstreifenkarten (Seitenlagetechnik) Kreditkarten	Dauerkarten (Mieter)
Parkhaus Jelmoli, Zürich	Magnetstreifenkarten (Seitenlagetechnik) Kreditkarten	
Parkhaus Messe Zürich AG, Zürich	Magnetstreifenkarten (Seitenlagetechnik) Kreditkarten	Dauermieterkarten
Parking Zürich Flughafen, Kloten	Barcodekarten Kreditkarten	Langzeitparking

¹ Zum Zeitpunkt der Erhebung war die Bezahlung mit Kreditkarten nur am Kassenautomaten möglich. Die Systemergänzung zur Erkennung von Kreditkarten an der Einfahrtssäule war noch in Bearbeitung.

Abb. 4.19 Übersicht zu den Erhebungsstandorten

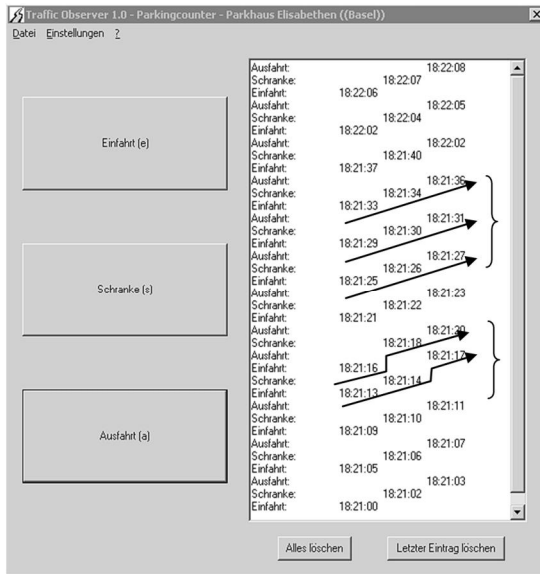
4.7.3 Messverfahren

Pro Fahrzeug werden drei Zeitpunkte im Abfertigungsprozess ermittelt:

- 1. Einfahrtszeitpunkt in den Beobachtungskorridor (Einfahrt)**
- 2. Zeitpunkt der Ticketentnahme (Schranke)**
- 3. Zeitpunkt der Schrankenschliessung (Ausfahrt)**

Die Zeiten wurden manuell mit Hilfe eines programmierten Fahrzeugzählers ermittelt. Die Software (Traffic Observer / Parkingcounter; vgl. nachfolgende Abbildungen) erleichterte nicht nur die Auswertung der Erhebungsdaten, sondern verhalf durch die einfache und schnelle Erfassung zu präziseren Daten.

Sobald ein Fahrzeug in den Beobachtungskorridor einfuhr oder einer der anderen genannten Zeitpunkte aktuell war, wurden die Zeitpunkte mittels Antippen der jeweiligen Funktionstasten erfasst. In den nachfolgenden Abbildungen ist die eingesetzte Erhebungssoftware dargestellt.



Durchlaufzeiten der Fahrzeuge

Folgefahrzeug fährt noch vor der Schrankenschließung in den Beobachtungskorridor vor.

Abb. 4.20 Eingesetzte Software zur schnelleren und präziseren Erfassung der Durchlaufzeiten

Als Ergänzung der Zeitwerte konnten noch weitere spezifische Daten zur Erhebungsreihe sowie zur Anlage vermerkt werden.

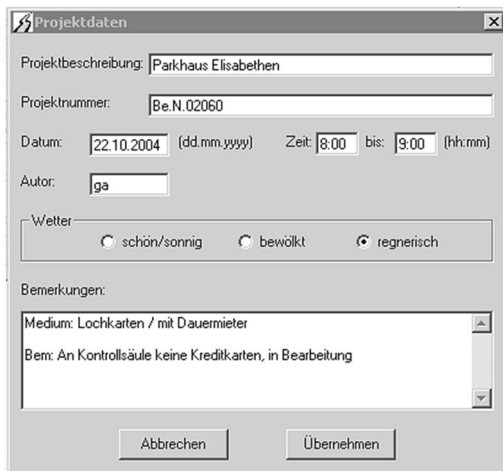


Abb. 4.21 Eingabemaske zur Erfassung spezifischer Erhebungsmerkmale Abfertigungszeiten bei Anlagen mit Magnetstreiftickets

Leistungsfähigkeit an der Einfahrt

Die Magnetstreifenkarte ist eine der in der Schweiz am häufigsten eingesetzten Datenträgerkarte. Aufgrund des hohen Stellenwertes waren gerade an vier Standorten Erhebungen an Anlagen mit solchen Magnetstreiftickets durchgeführt worden. Die Erhebungsdaten sind zusammengefasst in der unten stehenden Tabelle ersichtlich.

Beim Parkhaus Metro in Bern wurden während einer Abendspitzenstunde (Abendverkauf in der Innenstadt) rund 180 Fahrzeuge an der Einfahrt erfasst, von welchen 117 als Folgefahrzeuge bezeichnet werden konnten. Im Gegensatz zu den übrigen Erhebungsstandorten war der Stauraum während einer beachtlichen Dauer mit mindestens einem bis zwei Fahrzeugen gefüllt, so dass stets Fahrzeug auf Fahrzeug folgte. Fahrzeugfolgen von teilweise mehr als 14 Fahrzeuge zeigten für einen Augenblick quasi die Abläufe unter Vollast auf. Gerade solche Werte aus einer

grossen Anzahl an Folgefahrzeugen sind zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage besonders wertvoll.

Im Park&Ride Neufeld war mit rund 113 Fahrzeugen eine geringere Nachfrage und eine homogenere Verteilung der Zufahrten als im Parkhaus Metro zu beobachten. Schliesslich konnten nur 29 Fahrzeuge als Folgefahrzeuge erfasst und für die Leistungsberechnungen mit berücksichtigt werden.

Auswertung der Abfertigungszeiten an der Einfahrt					
Standort	[-]	Parkhaus Metro, Bern	P+R Neufeld, Bern	Parkhaus Jelmoli, Zürich	Parkhaus Messe Zürich
Erhebungsdauer	[min]	60	60	35 *)	90
Anzahl Einzelfahrzeuge (EF)	[-]	63	84	34	68
Anzahl Folgefahrzeuge (FF)	[-]	117	29	19	41
Schnellste Abfertigungszeit	[s]	7	10	12	9
Längste Abfertigungszeit	[s]	24	23	19	13
Mittelwert (nur FF)	[s]	11.8	11.6	14.8	11.0
Bereinigter Mittelwert	[s]	11.1	10.9	12.8 *)	11.0
Standardabweichung	[s]	2.4	2.7	2.8	1.4
Leistungsfähigkeit	[Fz/h]	324	330	-	327

*) während der Erhebung füllte sich das Parkhaus Jelmoli komplett, so dass die Zufahrt ins Parkhaus nur nach einem ausfahrenden Fahrzeug möglich war. Die Erhebungsreihe wurde abgebrochen.

Abb. 4.22 Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Magnetstreifentickets

Die schnellste Abfertigungszeit wurde mit rund 7 Sekunden im Parkhaus Metro in Bern beobachtet. Anhand der Fahrzeugabfolge konnte trotz breiter Streuung der Erhebungsdaten festgestellt werden, dass aus einer längeren Fahrzeugkolonne tendenziell die kürzeren Abfertigungszeiten beobachtet werden können. Ein Grund hierfür könnte die längere Vorbereitungszeit (wie z.B. Fenster öffnen, Beobachtung des Vorderfahrzeuges, räumliche Orientierung, genaueres Manövrieren an das Bediengerät, etc.) im Vorfeld des eigentlichen Abfertigungsprozesses wie auch die Vertrautheit der Kundschaft mit der Einfahrtsanlage sein. Ein anderer Grund für schnellere Abfertigungszeiten könnte aber auch aus einem höheren Leistungsdruck resultieren, welcher ein Fahrzeuglenker durch die Anwesenheit einer Fahrzeugkolonne hinter ihm verspüren kann. Dies würde jedenfalls erklären, warum die schnellste Abfertigungszeit im Park&Ride Neufeld mit 10 Sekunden deutlich länger als im Parkhaus Metro mit 7 Sekunden zu beobachten war.

Die längsten Abfertigungszeiten lagen bei rund 20 Sekunden und resultierten vorwiegend aus einem ungenauen Manövrieren vor das Bediengerät. An der Einfahrt zum Parkhaus Messe Zürich betrug die längste Abfertigungszeit lediglich 13 Sekunden. Was vermuten lässt, dass die zugefahrene Kundschaft das Parkhaus regelmässig aufsucht und dadurch die örtliche Gegebenheit wie die technischen Einrichtungen bestens kennt.

Der Mittelwert der Abfertigungszeiten aller Folgefahrzeuge lag bei allen Anlagen etwas über 11 Sekunden. Einzige Ausnahme stellt das Parkhaus Jelmoli dar, bei welchem die mittlere Abfertigungszeit bei 14.8 Sekunden lag, was vermuten lässt, dass vorwiegend ortsfremde, nicht mit der Einfahrtsanlage vertraute Fahrzeuglenker ins Parkhaus eingefahren sind. Zudem musste die Erhebungsreihe abgebrochen werden, da sich während der Beobachtungszeit das Parking komplett füllte und somit die Zufahrten dosiert waren.

In der Auswertung wurde zum Mittelwert noch ein bereinigter Mittelwert ausgewiesen. Besondere Ereignisse und Vorgänge, welche während der Erhebung vorgefallen, aber generell nicht zu erwarten sind, wurden im Datensatz als Ausreisser deklariert und wurden im bereinigten Mittelwert nicht mit berücksichtigt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verteilung der Abfertigungszeiten an der Einfahrt auf. Zu erkennen ist, dass die Verteilung asymmetrisch verläuft, was durch die Kombination von technischen, immer gleich bleibenden Bedienzeiten und den individuell, sich je nach Nutzer verändernden Handlungszeiten zu erwarten war. Mit einem Anteil von 22% war die Abfertigungszeit von 12 Sekunden am häufigsten beobachtet worden.

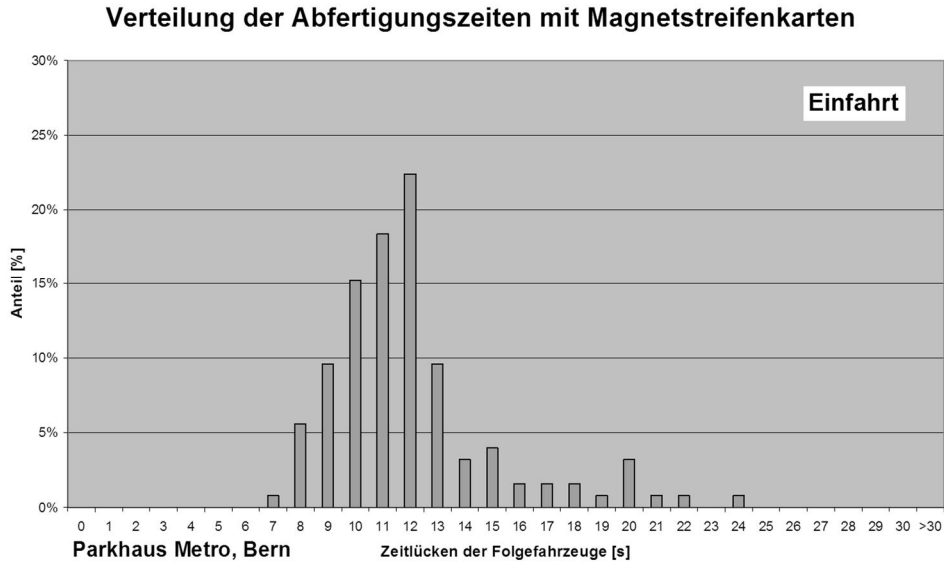


Abb. 4.23 Verteilung der Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Magnetstreifentickets

Die Verteilungskurve aus Abbildung 4.24 weist für die Zeitlücken zwischen 9 bis 13 Sekunden einen steilen Anstieg auf. Innerhalb dieser Bandbreite lagen mehr als 60% aller Einfahrtszeiten. Gegen oben flacht die Kurve infolge der vereinzelt länger dauernden Einfahrten etwas ab.

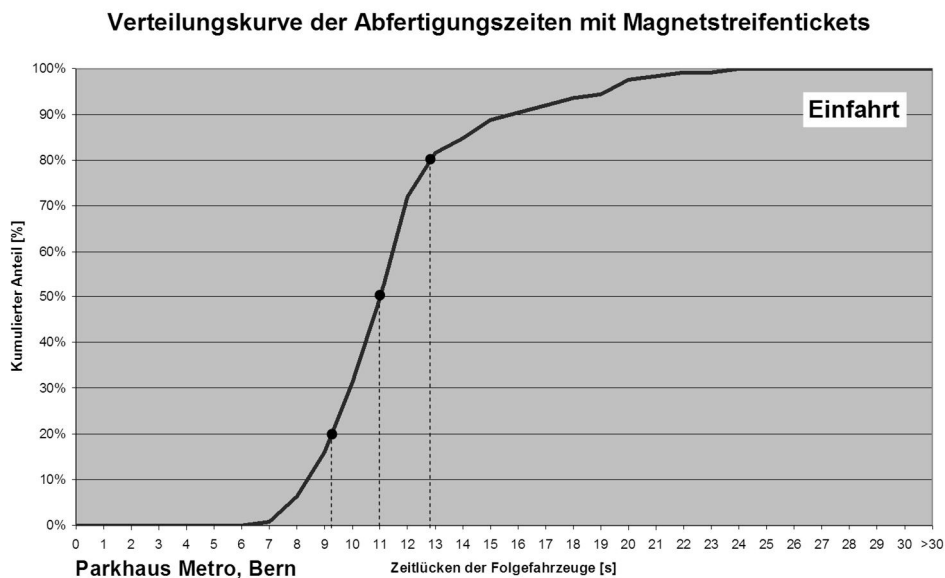


Abb. 4.24 Verteilungskurve der Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Magnetstreifentickets

Leistungsfähigkeit an der Ausfahrt

Bezüglich den Abfertigungszeiten an den Ausfahrten liegen von zwei Standorten (Parkhaus Metro in Bern, Parkhaus Messe in Zürich Oerlikon) ausreichende Datensätze vor.

Auswertung der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt			
Standort	[-]	Parkhaus Metro, Bern	Parkhaus Messe Zürich
Erhebungsdauer	[min]	60	60
Anzahl Einzelfahrzeuge (EF)	[-]	63	104
Anzahl Folgefahrzeuge (FF)	[-]	90	57
Schnellste Abfertigungszeit	[s]	6	7
Längste Abfertigungszeit	[s]	17	32
Mittelwert (alle Fz)	[s]	12.8	12.2
Mittelwert (nur FF)	[s]	10.2	10.3
Standardabweichung	[s]	2.2	4.7
Leistungsfähigkeit	[Fz/h]	353	350

Abb. 4.25 Abfertigungszeiten an der Ausfahrt mit Magnetstreifentickets

Beim Parkhaus Metro in Bern konnten wie bereits bei der Einfahrt mit rund 90 Fahrzeugen eine grössere Anzahl an Folgefahrzeugen als an Einzelfahrzeugen (63 Personenwagen) beobachtet werden. Die kürzeste Abfertigungszeit wurde bei 6 Sekunden gestoppt, während die längste Durchlaufzeit in Bern 17 Sekunden andauerte. Bei der letzteren Fahrt suchte der Fahrzeuglenker noch sein Parkticket im Auto, was dementsprechend zu dieser längeren Bedienzeit führte. Die mittlere Abfertigungsdauer aller Folgefahrzeuge lag bei 10.2 Sekunden, was einer Durchgangsleistung von rund 350 Fahrzeugen pro Stunde entspricht. Der Mittelwert aller erfassten Fahrzeuge (inkl. Einzelfahrzeuge) lag mit einem Wert von 12.8 Sekunden deutlich über jenem der Folgefahrzeuge. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass bei Einzelfahrzeugen die Abfertigungszeit ab dem Befahren des Beobachtungskorridors zu zählen beginnt, während bei Folgefahrzeugen durch ein gleichzeitiges Wegfahren (Vorderfahrzeug) und Zufahren (Folgefahrzeug) die Folgezeitlücke indes kürzer sein kann. Andererseits waren aber auch längere Bedienzeiten von Einzelfahrzeugen zu beobachten. Da die Leistungsfähigkeit ein Grenzwert darstellt, zu welchem die maximale Anzahl an Fahrzeugen an der Abfertigungsanlage abgewickelt werden kann, reflektieren die Folgezeitlücken besser den vorliegenden Sachverhalt.

An der Ausfahrt des Messe Parkings in Zürich konnten 57 Folge- und 104 Einzelfahrzeuge erfasst werden. Die schnellste Abfertigungszeit lag bei 7 Sekunden, während die Längste bereits über eine halbe Minute andauerte. Dazu war es wie folgt gekommen: Der Fahrzeuglenker manövrierte sein Fahrzeug derart ungünstig vor das Bediengerät, so dass dieser zu weit weg vom Kartenleser stand und sein Fahrzeug erneut ausrichten musste. Trotz der einen längeren Abfertigungszeit lag der Mittelwert aller Fahrzeuge etwas unter jenem aus der Erhebung in Bern. Die mittleren Abfertigungszeiten der Folgefahrzeuge weisen indessen mit 10.2 respektive 10.3 Sekunden in etwa die gleichen Werte auf.

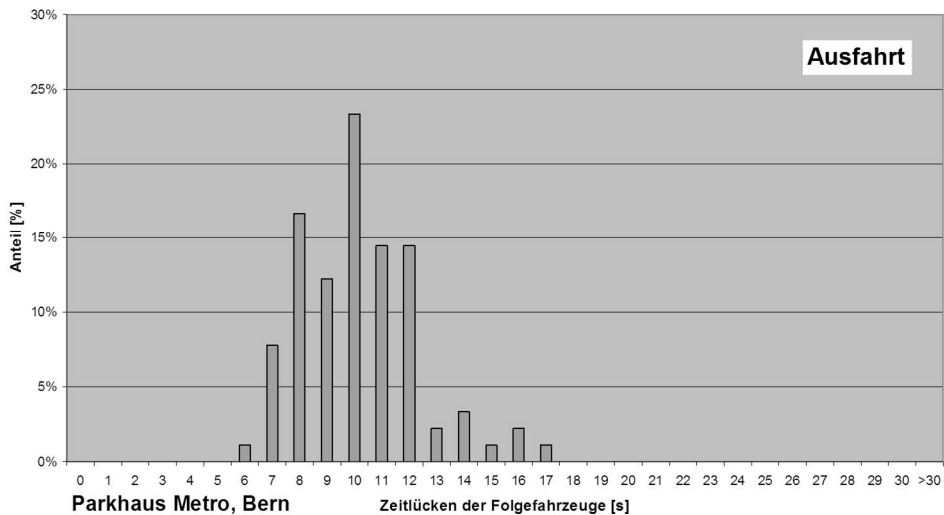


Abb. 4.26 Verteilung der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt mit Magnetstreifentickets

Die Verteilung der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt zeichnen ein Bild zu drei Blöcken: Während vereinzelt Fahrzeuge in weniger als 8 Sekunden die Ausfahrt passieren können, braucht das Hauptfeld zwischen 8 bis 12 Sekunden. In einem dritten Block nimmt die Anzahl Fahrzeuge wieder deutlich ab, es sind dies jene, die überdurchschnittlich lange im Abfertigungsprozess verweilen.

Anhand der Verteilungskurve sind die drei Blöcke ebenfalls gut zu erkennen. Im Hauptblock mit Folgezeitlücken von 8 bis 12 Sekunden werden rund 70% (20% → 90%) aller Folgefahrzeuge abgefertigt.

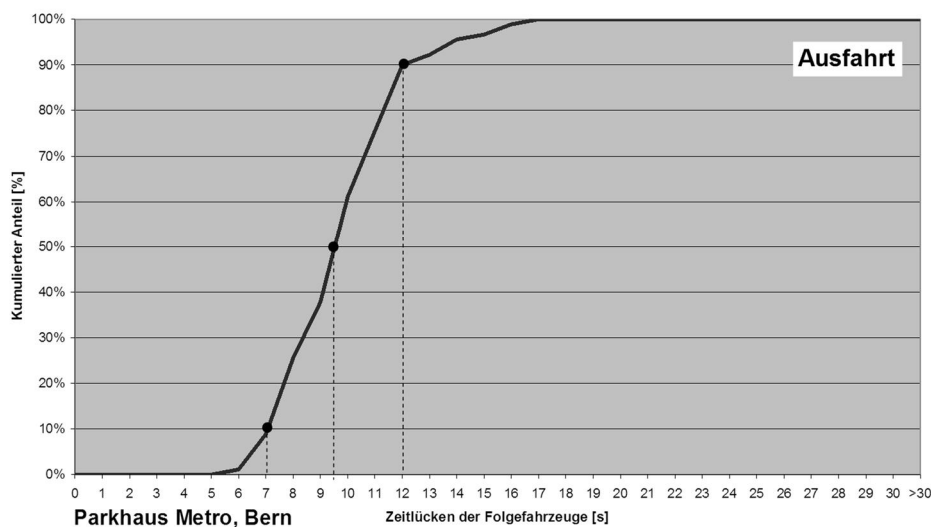


Abb. 4.27 Verteilungskurve der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt mit Magnetstreifentickets

Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Die Erhebungen haben in erster Linie gezeigt, dass kurze Abfertigungszeiten möglich sind, diese aber grösstenteils von den Fahrzeugenkern nicht umgesetzt werden können. Da sich die Abfertigungszeit unter anderem aus einer konstanten technischen Bearbeitungszeit zusammensetzt, bedeutet dies, dass der Faktor Mensch im Wesentlichen die Abfertigungszeiten und somit die Leistungsfähigkeit beeinflusst.

Die kürzesten Abfertigungszeiten an den Einfahrten waren mit Werten zwischen 7 und 8 Sekunden zu beobachten, während die mittlere Abfertigungszeit bei rund 11.1 Sekunden (für Folge-

fahrzeuge) beziehungsweise 11.8 Sekunden (für alle Fahrzeuge) lag. Zwischen Idealfall³ und der Realität resultiert somit durchschnittlich ein Unterschied von 4 bis 5 Sekunden, welcher grösstenteils dem Verhalten des Menschen bei der Bedienung zuzuschreiben ist. Welche Werte schliesslich zur Berechnung der Leistungsfähigkeit zu berücksichtigen sind, soll zunächst anhand der Definition zur Leistungsfähigkeit geklärt werden.

Gemäss Norm SN 640 017a ist die Leistungsfähigkeit wie folgt definiert:

„Unter Leistungsfähigkeit einer Verkehrsanlage wird die grösstmögliche Verkehrsstärke verstanden, von der erwartet werden kann, dass sie einen Abschnitt dieser Anlage während eines gegebenen Zeitintervalles, bei gegebenen Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen, durchfahren kann.“

Würden alle Fahrzeuge gemäss dem oben beschriebenen Idealfall verkehren (hypothetischer Ansatz), so könnte zwar eine theoretische Leistungsfähigkeit erreicht werden, welche aber kaum die Verkehrsabwicklung in der Realität abbildet. Gemäss der Definition lässt sich die Leistungsfähigkeit aus der mittleren Abfertigungszeit während eines gegebenen Zeitintervalles ableiten. In der bisherigen Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb wurde denn auch der Begriff **mittlere Leistungsfähigkeit** verwendet.

Nachfolgend werden die gewonnenen Werte aus den Erhebungen mit den Angaben aus der bisherigen Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb sowie der deutschen Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR 05) verglichen, diskutiert und mit einem Normvorschlag abgeschlossen.

Die **Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb** unterscheidet weder Kontrollmedien noch gibt sie zu Magnetstreifenkarten Auskunft über deren Leistungsfähigkeiten. Einzig die Kapazitätsangabe zu einer automatischen Barriere mit Induktionsschleufe und Parkscheinausgabe ist der Norm zu entnehmen. Der ausgewiesene Wert von 400 Fahrzeugen pro Stunde entspricht einem abgefertigten Fahrzeug alle 9 Sekunden.

Die **Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR 05** weist für Magnetstreifentickets Kapazitätswerte an der Einfahrt zwischen 235 bis 290 Fahrzeuge je Stunde und an der Ausfahrt 270 bis 340 Fahrzeuge je Stunde aus. Unterschieden werden einerseits die Kartenausprägungen (Mittel- oder Seitenlage) und andererseits die Nachfragegruppe Gelegenheitsparker oder Mietparker. Vor allem beim Einsatz von Mietparkern wird vermerkt, dass das Ticket bei der Einfahrt in das Kontrollgerät eingeführt und kontrolliert werden muss und daher längere Abfertigungszeiten als bei Gelegenheitsparker resultieren.

Vergleich der Erhebungswerte mit der Normgebung				
Leistungsfähigkeit (je Fahrstreifen):			Einfahrt	Ausfahrt
SN 640 293 Parkieren - Betrieb (bisher)				
Automatische Barriere mit Induktionsschleufe und Parkscheinausgabe		[Fz/h]	400	400
Gelegenheitsparker				
Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR 05	Mittellagetechnik	[Fz/h]	290	340
	Seitenlagetechnik	[Fz/h]	290	250
	Mietparker			
	Mittel-/Seitenlagetechnik	[Fz/h]	235	270
Erhebungsreihe	Mittellagetechnik	[Fz/h]	-	-
	Seitenlagetechnik	[Fz/h]	327	352
Normvorschlag		[Fz/h]	325	350

Abb. 4.28 Magnetstreifentickets - Vergleich von Norm- und Erhebungswerten

³ Die kürzesten Erhebungszeiten kommen vermutlich bereits sehr nahe an die schnellstmögliche Abfertigungszeit und stellen bezüglich der Leistungsfähigkeit ein Idealfall dar.

Der Vergleich der Kennwerte erstaunt auf den ersten Blick. Die bisherige Norm SN 640 293 weist gegenüber der EAR 05 Werte aus, die gegen 40% und mehr höher liegen! Zu bemerken gilt es allerdings, dass bei der Schweizer Norm Induktionsschleifen mitberücksichtigt waren, welche die zufahrenden Fahrzeuge erfasste und zur Beschleunigung des Abfertigungsvorganges automatisch die Parkscheine ausgab. Heute werden am Kontrollgerät an der Einfahrt meist Mehrfachsysteme installiert, welche sowohl Parktickets ausgeben als auch Kreditkarten einlesen können. Eine automatische Parkscheinausgabe ist bei solchen Systemen nicht mehr möglich, was sich negativ auf die Abfertigungszeiten auswirkt.

Das Erhebungsergebnis mit einer Einfahrtsleistung von 327 Fz/h liegt im mittleren Bereich der beiden Normangaben. Längere Einfahrtszeiten bei Mietparker konnten indessen nur vereinzelt beobachtet werden und hatte insgesamt keinen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Zwar dürften das Einlesen der Dauerkarte wie auch die technische Überprüfung etwas länger dauern als die Ticketanforderung per Knopfdruck, doch wird die Verlustzeit durch die schnellere Manövrierzeit infolge der besseren Vertrautheit mit der Anlage wieder wett gemacht. Demnach konnten die Beobachtungen der EAR bezüglich Mietparker nicht bestätigt werden.

Die erhobene Abfertigungsleistung an der Ausfahrt ergab ein Wert von 352 Fahrzeugen je Stunde, was mit jenem Wert der EAR 05 bei Gebrauch von Magnetstreifenkarten in Mittellage vergleichbar ist. Es konnten keine längeren Abfertigungszeiten infolge der Seitenlagetechnik, bei welcher nur eine richtige Einschubmöglichkeit besteht, im Gegensatz zu den Untersuchungen der EAR 05 festgestellt werden.

Es wird von der Forschungsstelle vorgeschlagen in der Norm die beiden Ticketausprägungen (Mittel- und Seitenlage) nicht zu unterscheiden. Die Leistungswerte der Magnetstreifentickets betragen an der Einfahrt rund 325 Fahrzeuge und an der Ausfahrt 350 Fahrzeuge pro Stunde.

4.7.4 Lochkartentickets

Leistungsfähigkeit an der Einfahrt

In der Schweiz sind Abfertigungsanlagen mit Lochkartentickets ebenfalls stark verbreitet. Die Abfertigungszeiten dieses Datenträgers wurden an 4 Standorten erhoben.

Die Resultate aus allen vier Erhebungen weisen in etwa die gleichen Werte auf. Die mittlere Abfertigungszeit aller Folgefahrzeuge lag zwischen 11.0 und 11.5 Sekunden. Ebenfalls geringer als noch bei den Erhebungen mit den Magnetsreifentickets fielen die Standardabweichungen aus. Die kürzeste Abfertigungszeit betrug 7 Sekunden und wurde an der Einfahrt zum Parkhaus BEA Expo in Bern gemessen. Dort konnte auch beobachtet werden, wie ein Fahrzeuglenker derart ungünstig vor das Kontrollgerät fuhr, dass er das Parkticket nicht mehr vom Fahrzeug aus entnehmen konnte. Daraufhin versuchte er aus zu steigen, um das Ticket entgegen zunehmen, was ebenfalls scheiterte, da die Fahrzeugtüre an den Anprallschutz stiess. Schliesslich musste der Fahrzeuglenker sein Fahrzeug erneut ausrichten, was schliesslich zur Abfertigungszeit von 51 Sekunden führte.

Auswertung der Abfertigungszeiten an der Einfahrt					
Standort	[-]	Parkhaus Elisabethen, Basel	Parkhaus Steinen, Basel	Parkhaus City, Basel	Parkhaus BEA Expo, Bern
Erhebungsdauer	[min]	60	60	60	60
Anzahl Einzelfahrzeuge (EF)	[-]	61	87	55	84
Anzahl Folgefahrzeuge (FF)	[-]	42	32	26	112
Schnellste Abfertigungszeit	[s]	9	9	8	7
Längste Abfertigungszeit	[s]	25	21	17	51
Mittelwert (alle Fz)	[s]	14.1	13.2	12.7	14.8
Mittelwert (nur FF)	[s]	11.5	11.3	11.2	11.0
Standardabweichung	[s]	2.1	1.4	1.5	1.7
Leistungsfähigkeit	[Fz/h]	313	319	321	327

Abb. 4.29 Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Lochkartentickets

Die Verteilung zeigt sich um den Mittelwert von 11 Sekunden ziemlich ausgeglichen. Zur geringen Anzahl an kürzeren Abfertigungszeiten von 7 bis 8 Sekunden stehen etwas mehr Fahrzeuge, die zwischen 12 bis 17 Sekunden benötigten, gegenüber, so dass die Verteilung insgesamt leicht schief symmetrisch ist.

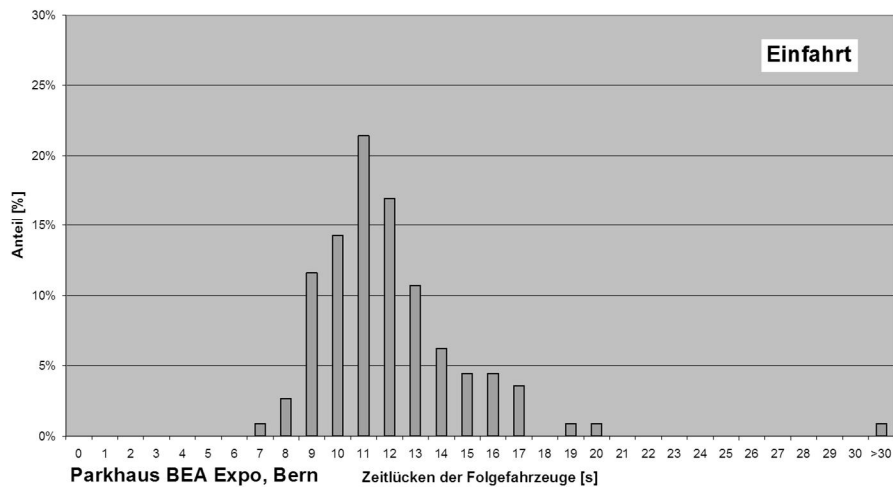


Abb. 4.30 Verteilung der Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Lochkartentickets

Die Verteilungskurve steigt ab der Zeitlücke von 9 Sekunden steil an und flacht bei 13 Sekunden ab. In dieser Zeitspanne konnten rund 70% aller zugefahrenen Fahrzeuge abgefertigt werden.

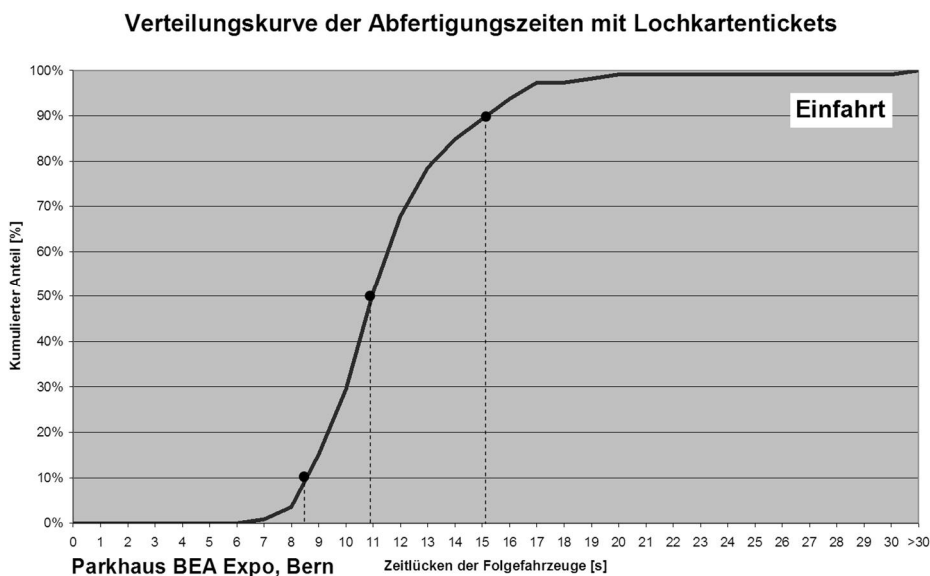


Abb. 4.31 Verteilungskurve der Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Lochkartentickets

Leistungsfähigkeit an der Ausfahrt

Zu den Abfertigungszeiten an den Ausfahrten liegen von den beiden Parkhäuser Elisabethen und City, beide in Basel, Erhebungsreihen vor. Während im Parkhaus Elisabethen noch 21 Folgefahrzeuge beobachtet werden konnten, waren es im Parkhaus City noch deren 9.

Die kürzeste Abfertigungszeit lag wiederum bei 7 Sekunden, während die längste 19 Sekunden andauerte. Der Mittelwert aller Parkhausausfahrten lag bei 13.2 respektive 13.6 Sekunden, was einer Abfertigungsleistung von rund 275 Fahrzeugen pro Stunde entspricht. Die mittlere Abfertigungszeit aller Folgefahrzeuge lag mit Werten von 11.1 resp. 11.7 Sekunden wiederum deutlich

tiefer als der Gesamtdurchschnitt, was einer Abfertigungsleistung zwischen 308 bis 324 Fahrzeugen pro Stunde entspricht.

Auswertung der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt			
Standort	[-]	Parkhaus Elisabethen, Basel	Parkhaus City, Basel
Erhebungsdauer	[min]	60	60
Anzahl Einzelfahrzeuge (EF)	[-]	78	46
Anzahl Folgefahrzeuge (FF)	[-]	21	9
Schnellste Abfertigungszeit	[s]	7	8
Längste Abfertigungszeit	[s]	19	17
Mittelwert (alle Fz)	[s]	13.2	13.6
Mittelwert (nur FF)	[s]	11.1	11.7
Standardabweichung	[s]	3.2	3.3
Leistungsfähigkeit	[Fz/h]	324	308

Abb. 4.32 Abfertigungszeiten an der Ausfahrt mit Lochkartentickets

Im Gegensatz zur Einfahrt zeigt sich die Verteilung der Zeitlücken schief symmetrisch in Richtung der tieferen Werte. Rund ein Viertel aller ausgefahrenen Fahrzeuge wiesen eine Abfertigungszeit von 11 Sekunden auf, was dem durchschnitt aller Folgefahrzeuge entsprach.

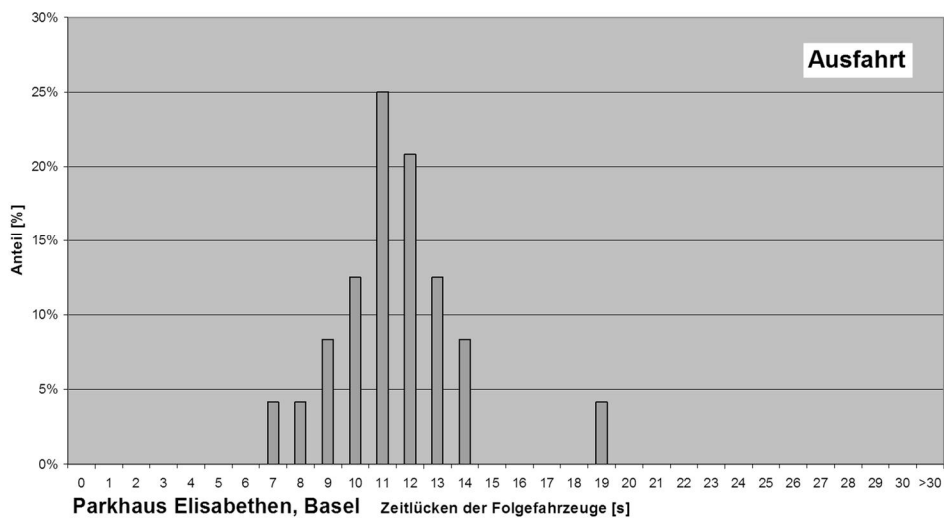


Abb. 4.33 Verteilung der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt mit Lochkartentickets

Die Verteilungskurve verläuft zunächst leicht steigend, zieht dann aber im Bereich der Zeitlücken zwischen 10 bis 13 Sekunden steil nach oben, bevor die Kurve wieder abflacht.

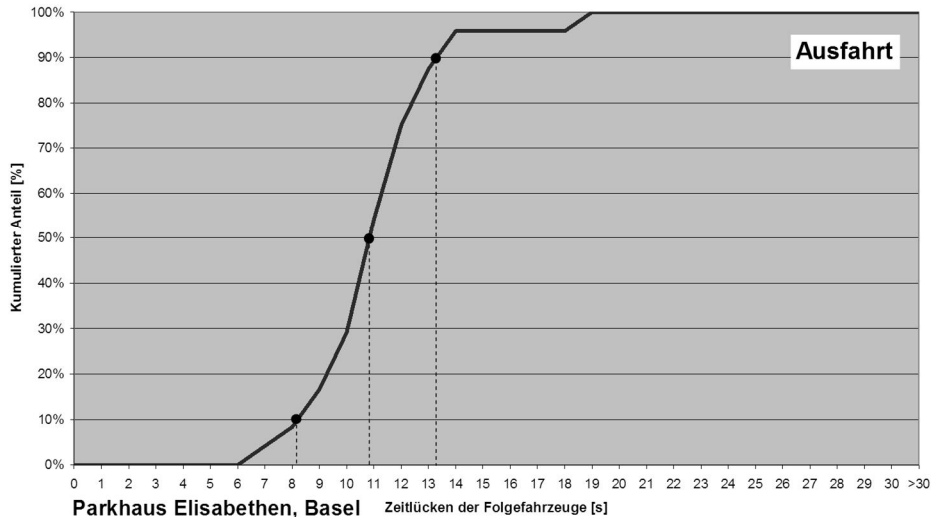


Abb. 4.34 Verteilungskurve der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt mit Lochkartentickets

Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Die bisherige Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb liefert keine spezifische Angaben zur Leistungsfähigkeit von Abfertigungsanlagen mit Lochkartentickets. Einzig der Vermerk zur automatischen Barriere mit Induktionsschleufe und Parkscheinausgabe dient als Orientierungshilfe. Zudem werden in der deutschen Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR 05 Lochkarten als Kontrollmedium gar nicht aufgeführt.

Somit konnten die Erhebungsergebnisse nicht weiter verglichen werden.

Vergleich der Erhebungswerte mit der Normgebung			
Leistungsfähigkeit (je Fahrstreifen):		Einfahrt	Ausfahrt
SN 640 293 (bisher)			
Automatische Barriere mit Induktionsschleufe und Parkscheinausgabe	[Fz/h]	400	400
EAR 05	[Fz/h]	-	-
Erhebungsreihe	[Fz/h]	312	316
Normvorschlag	[Fz/h]	320	320

Abb. 4.35 Lochkarten – Vergleich von Norm- und Erhebungswerten

Für die Normierung wird eine Leistungsfähigkeit der Lochkarten sowohl an der Einfahrt als auch an der Ausfahrt mit 320 Fahrzeugen pro Stunde angesetzt.

4.7.5 Barcodetickets

Leistungsfähigkeit an der Einfahrt

An den Ein- und Ausfahrten der Parkhäuser des Flughafen Zürich- Kloten konnten die Abfertigungszeiten von Anlagen mit Barcodetickets erhoben werden. An der Einfahrt konnten insgesamt 142 Fahrzeuge beobachtet werden, wovon 65 als Folgefahrzeuge registriert wurden. Im Vergleich zu den übrigen Erhebungsstandorten waren an der Einfahrt deutlich mehr Registrierungen von Kreditkarten zu beobachten. Diese Einfahrten sind nachfolgend nicht in der Statistik aufgeführt.

Die schnellste Abfertigungszeit mit Barcodetickets betrug 7 Sekunden, während die längste 32 Sekunden dauerte. Die mittlere Abfertigungszeit aller Folgefahrzeuge betrug 12.1 Sekunden, was einer Leistungsfähigkeit von 300 Fahrzeugen pro Stunde und Fahrspur an der Einfahrtsschranke entspricht.

Auswertung der Abfertigungszeiten an der Einfahrt		
Standort	[-]	Parkhaus Flughafen Zürich, Kloten
Erhebungsdauer	[min]	60
Anzahl Einzelfahrzeuge (EF)	[-]	77
Anzahl Folgefahrzeuge (FF)	[-]	65
Schnellste Abfertigungszeit	[s]	9
Längste Abfertigungszeit	[s]	32
Mittelwert (alle Fz)	[s]	13.2
Mittelwert (nur FF)	[s]	12.1
Standardabweichung	[s]	2.3
Leistungsfähigkeit	[Fz/h]	298

Abb. 4.36 Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Barcodetickets

Leistungsfähigkeit an der Ausfahrt

An der Ausfahrt konnten rund 204 Fahrzeuge beobachtet werden. Die Abfertigungszeiten waren insgesamt deutlich kürzer als bei der Einfahrt zum Parking. So betrug die kürzeste Abfertigungszeit lediglich 5 Sekunden. Wiederum waren die Abfertigungszeiten bei Kreditkartengebrauch in der nachfolgenden Statistik nicht berücksichtigt worden.

Die mittlere Abfertigungszeit lag bei schnellen 8.7 Sekunden, was einem Stundendurchsatz von über 400 Fahrzeugen entspricht.

Auswertung der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt		
Standort	[-]	Parkhaus Flughafen Zürich, Kloten
Erhebungsdauer	[min]	60
Anzahl Einzelfahrzeuge (EF)	[-]	96
Anzahl Folgefahrzeuge (FF)	[-]	108
Schnellste Abfertigungszeit	[s]	5
Längste Abfertigungszeit	[s]	14
Mittelwert (alle Fz)	[s]	11.0
Mittelwert (nur FF)	[s]	8.7
Standardabweichung	[s]	1.8
Leistungsfähigkeit	[Fz/h]	414

Abb. 4.37 Abfertigungszeiten an der Ausfahrt mit Barcodetickets

Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

In erster Linie erstaunt der markante Leistungsunterschied zwischen Einfahrt (298 Fz/h) und Ausfahrt (414 Fz/h). Vor allem die technische Prüfprozedur am Ausfahrtskontrollgerät arbeitete sehr schnell, so dass diese geringen Ausfahrtszeiten möglich waren.

In der **SN 640 293 Parkieren – Betrieb** sind wiederum keine spezifischen Angaben zur Leistungsfähigkeit einer Abfertigungsanlage mit Barcodetickets zu entnehmen. Wie bereits zu den anderen Kontrollmedien dient einzig die Angabe von 400 Fz/h je Fahrstreifen zu einer automatischen Barriere mit Induktionsschleufe und Parkscheinausgabe als Orientierungshilfe.

Die deutsche **Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR 05** weist für Barcodetickets Leistungsfähigkeiten von 290 Fahrzeugen je Stunde an der Einfahrt sowie 340 Fahrzeuge je Stunde an der Ausfahrt aus.

Vergleich der Erhebungswerte mit der Normgebung			
Leistungsfähigkeit (je Fahrstreifen):		Einfahrt	Ausfahrt
SN 640 293 Parkieren - Betrieb (bisher) Automatische Barriere mit Induktionsschleufe und Parkscheinausgabe	[Fz/h]	400	400
EAR 05	[Fz/h]	290	340
Erhebungsreihe	[Fz/h]	298	414
Normvorschlag	[Fz/h]	300	400

Abb. 4.38 Barcodetickets – Vergleich von Norm- und Erhebungswerten

4.7.6 Kreditkarten

Leistungsfähigkeit an der Einfahrt

Zunehmend können Kreditkarten auch an der Ein- und Ausfahrt als Parkticketersatz eingesetzt werden. Dabei entfällt vor der Ausfahrt der Gang zum Kassenautomaten. Debitkarten können an den Abfertigungsanlagen nicht eingesetzt werden, da diese zur Identifikation zwingend die Eingabe eines PIN-Codes erfordern. Weiter ist zu bemerken, dass der Einsatz von Kreditkarten an den Abfertigungsanlagen stets ein Ergänzungsangebot zu einem Basis-Ticketsystem ist, d.h. die Kreditkarten kommen nie gesondert zur Anwendung. Dementsprechend fallen auch die Anzahl der beobachteten Ein- und Ausfahrten geringer aus.

An folgenden Standorten wurden im Rahmen der jeweiligen Basiserhebungen auch die Abfertigungszeiten bei Gebrauch von Kreditkarten erfasst: Bahnhofparking in Bern, Parkhaus Metro in Bern, Parkhaus BEA Expo in Bern sowie beim Parkhaus Flughafen Zürich in Kloten.

Im Vergleich zur konventionellen Einfahrt werden die Kreditkarten an der Einfahrtssäule noch selten gebraucht. Dies zeigt sich an der geringen Anzahl gewonnener Werte, so dass die Kennzahlen aus den Erhebungen statistisch kaum repräsentativ sind. Die Streuung der Messwerte ist entsprechend hoch. So dauerte beispielsweise die schnellste Abfertigung im Bahnhofparking in Bern 12 Sekunden, während die längste Einfahrtszeit von 7 Erhebungswerten bei 29 Sekunden lag. Die mittlere Abfertigungszeit betrug zwischen 17.8 und 23.6 Sekunden, was einer Abfertigungsleistung zwischen 153 und 202 Fahrzeugen pro Stunde entspricht.

Auswertung der Abfertigungszeiten an der Einfahrt					
Standort	[-]	Bahnhofparking, Bern	Parkhaus Metro, Bern	Parkhaus BEA Expo, Bern	Parkhaus Flughafen Zürich, Kloten
Erhebungsdauer	[min]	60	60	60	60
Anzahl Einzelfahrzeuge (EF)	[-]	7	4	3	14
Anzahl Folgefahrzeuge (FF)	[-]	0	0	0	0
Schnellste Abfertigungszeit	[s]	12	16	19	16
Längste Abfertigungszeit	[s]	29	22	30	41
Mittelwert	[s]	18.9	17.8	23.6	19.4
Leistungsfähigkeit	[Fz/h]	190	202	153	186

Abb. 4.39 Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Kreditkarten

Leistungsfähigkeit an der Ausfahrt

An den Ausfahrtsanlagen konnten wiederum nur wenige Fahrzeuglenker beobachtet werden, welche von der Kreditkarte Gebrauch machten. Die Abfertigungszeiten an den Ausfahrten waren im Durchschnitt tiefer als jene an den Einfahrten. Dies erstaunt umso mehr, als dass an der Ausfahrt der Buchungsprozess statt findet. Die kürzeste Abfertigungszeit dauerte gut 11 Sekunden und war im Bahnhofparking in Bern zu beobachten. Die mittlere Abfertigungszeit lag zwischen

15.6 und 18.3 Sekunden (ohne Parkhaus Flughafen Zürich), was einer Abfertigungsleistung zwischen 197 und 231 Fahrzeugen pro Stunde entspricht. Gemäss Aussagen von Parkingbetreibern funktioniert die Kreditkartenabfragung zu einem anderen Zeitpunkt und ist demnach nicht online mit dem Karteninstitut verbunden. Anders hingegen präsentiert sich die Anlage im Parkhaus Flughafen Zürich: Da in diesem Parking häufig über eine längere Zeit parkiert wird, fallen die Parkinggebühren entsprechend höher aus, so dass eine aktuelle Überprüfung der Kreditkarten unerlässlich wird. Die Überprüfung erfolgt online und bedarf an einer längeren Abfertigungszeit, was anhand der Erhebungsergebnisse ersichtlich wurde.

Auswertung der Abfertigungszeiten an der Ausfahrt					
Standort	[-]	Bahnhofparking, Bern	Parkhaus Metro, Bern	Parkhaus BEA Expo, Bern	Parkhaus Flughafen Zürich, Kloten
Erhebungsdauer	[min]	60	60	60	60
Anzahl Einzelfahrzeuge (EF)	[-]	8	2	5	9
Anzahl Folgefahrzeuge (FF)	[-]	0	0	0	0
Schnellste Abfertigungszeit	[s]	11	16	12	17
Längste Abfertigungszeit	[s]	21	22	19	31
Mittelwert	[s]	15.6	18.3	16.2	20.5
Leistungsfähigkeit	[Fz/h]	231	197	222	176

Abb. 4.40 Abfertigungszeiten an der Einfahrt mit Kreditkarten

Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Kreditkarten werden heute an den Kontrollsäulen noch spärlich eingesetzt, was teilweise auf die Neuartigkeit der Gebrauchsanwendung zurückzuführen ist. Die Erhebungsreihen haben gezeigt, dass im Vergleich zur konventionellen Einfahrt die Kreditkartenanwendungen im einstelligen Prozentbereich liegen (Tendenz leicht zunehmend).

Die wenigen Erhebungswerte weisen hohe Streuungen auf, so dass diese als statistisch nicht repräsentativ einzustufen sind. Die Zweckmässigkeit einer Leistungsangabe zu Abfertigungsanlagen mit Kreditkarten ist ohnehin fraglich, da die Kreditkarten nie als primäres Kartensystem eingesetzt werden, sondern immer als Ergänzungsangebot zu einem anderen gängigen Basissystem stehen.

Die deutsche Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR 05 weist sowohl für Kredit- als auch für Debitkarten an der Einfahrt eine Leistungsfähigkeit von 160 Fahrzeugen pro Stunde aus. An der Ausfahrt beträgt die Leistungsfähigkeit rund 210 Fahrzeuge pro Stunde.

Vergleich der Erhebungswerte mit der Normgebung			
Leistungsfähigkeit (je Fahrstreifen):		Einfahrt	Ausfahrt
SN 640 293 Parkieren - Betrieb (bisher)	[Fz/h]	-	-
EAR 05	[Fz/h]	160	210
Erhebungsreihe	[Fz/h]	182	206
Normvorschlag	[Fz/h]	180	210

Abb. 4.41 Kreditkarten – Vergleich von Norm- und Erhebungswerten

4.7.7 Handkassierung

Handkassierungen werden unter anderem aufgrund des hohen Personalaufwandes heute nur noch selten eingesetzt. Vereinzelt sind diese noch an besucherintensiven Veranstaltungen oder temporär eingerichteten Parkierungsanlagen zu beobachten.

Grundsätzlich gibt es bei der Handkassierung zwei Vorgehensformen: Einerseits gibt es ein freies Einkassieren, bei welchem das Kassierpersonal zur zugefahrenen Kundschaft hingeeht, um eine pauschale Parkgebühr einzukassieren. Diese Form wird vor allem bei temporär eingerichteten Parkierungsanlagen (Bsp. auf Grünanlagen) in Zusammenhang mit besonderen Veranstaltungen, aber auch vereinzelt an den Wintersportdestinationen, angewendet. Eine andere Möglichkeit besteht durch das manuelle Kassieren an der Einfahrt. Die Abläufe gleichen dann jenen bei Schrankenanlagen bis auf den Unterschied, dass anstelle der Parkscheinentnahme das Entgelt beim Kassierpersonal zu entrichten ist. Diese Form wird vereinzelt bei Sportveranstaltungen/Grossanlässe mit entsprechend hohen Zustromintensitäten zu vorhandenen Parkierungsanlagen angewendet. Die Bezahlung erfolgt meist durch die Abgabe eines Pauschalbetrages. Eine nach der Aufenthaltsdauer abgestufte Preisbildung findet heute aufgrund des hohen Aufwandes kaum mehr Anwendung. Bei diesem Verfahren war die Kundschaft sowohl an der Zu- als auch an der Ausfahrt zu erfassen.

Die im Rahmen der Forschungsarbeit angestellten Untersuchungen zur Handkassierung konzentrierten sich ausschliesslich auf die Erfassung an den Einfahrten und der Einkassierung eines Pauschalbetrages.

Pauschales Einkassieren an der Einfahrt

Der Ablauf beim pauschalen Einkassieren an der Einfahrt ähnelt zunächst jenem bei Schrankenanlagen: Die Kundschaft fährt auf der Zufahrt zu und hält vor der Kontrolleinrichtung resp. in diesem Fall beim Kassierer. Je nach Vorleistung hat der Kunde das Fenster bereits während der Anfahrt geöffnet. Im Gegensatz zur Ticketentnahme folgt im nächsten Schritt das zur Handnehmen des Portemonnaies. Schliesslich findet der Zahlungsvorgang statt, bei welchem die Genauigkeit des dem Kassierpersonal gegebenen Geldbetrages einen entscheidenden Zeitfaktor darstellt. Hat nämlich der Kassierer ein Rückgeld zu geben, so verlängert sich die Abfertigungszeit markant. Gleiches gilt für die Abläufe, wenn die Bezahlung mit Kredit- oder Debitkarten erfolgt.

Bestimmung von Abfertigungszeiten bei Handkassierung an der Einfahrt

a. Methodik

An der Einfahrt zur Parkierungsanlage waren während einer bestimmten Zeitperiode die Zeitlücken aller abgefertigten Fahrzeuge zu erfassen. Dabei wurde jeweils die Abfahrtszeitpunkte nach der Entrichtung der Parkgebühr erhoben. Die Abfertigungszeiten der Einzelfahrzeuge (keine Fahrzeuge in der Warteschlange) waren aufgrund der freien Zwischenzeiten bis zu Ankunft der nächsten Fahrzeuge in der Statistik nicht mit einzubeziehen.

b. Untersuchungsumfang

Anlässlich einer Sportveranstaltung wurden an der Einfahrt zu einem Parkhaus die Abfertigungszeiten bei manuellen Handkassierungen erhoben.

c. Messverfahren

Am Erhebungsquerschnitt wurden jeweils die Zeitpunkte der Fahrzeugdurchfahrten nach der Kassierung manuell erfasst. Dazu kamen elektronische PDA's zum Einsatz, welche den Erhebungsanforderungen entsprechend programmiert wurden.

d. Resultate

Während einer Zeitperiode von 90 Minuten wurden insgesamt 121 Fahrzeug erfasst. Die schnellste Abfertigungszeit lag knapp unter 6 Sekunden, während die längste Bezahlung der Parkgebühr rund 53 Sekunden dauerte. Der Mittelwert liegt bei rund 12.9 Sekunden, was einer Leistungsfähigkeit von rund 280 Fahrzeugen pro Stunde entspricht.

Auswertung		
Erhebungsdauer	90	[min]
Anzahl Folgefahrzeuge	121	[-]
Schnellste Abfertigungszeit	6	[s]
Längste Abfertigungszeit	53	[s]
Mittelwert	12.9	[s]
Standardabweichung	8.1	[s]
Leistungsfähigkeit	279	[Fz/h]

Abb. 4.42 Kennzahlen aus der Erhebung der Abfertigungszeiten bei Handkassierung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verteilung der Abfertigungszeiten aller Folgefahrzeuge. Die häufigste Abfertigungszeit liegt mit einem Anteil von 15% am Gesamttotal bei rund 8 Sekunden. Besonders zu beachten ist, dass dieser Wert rund 38% unter dem Mittelwert liegt.

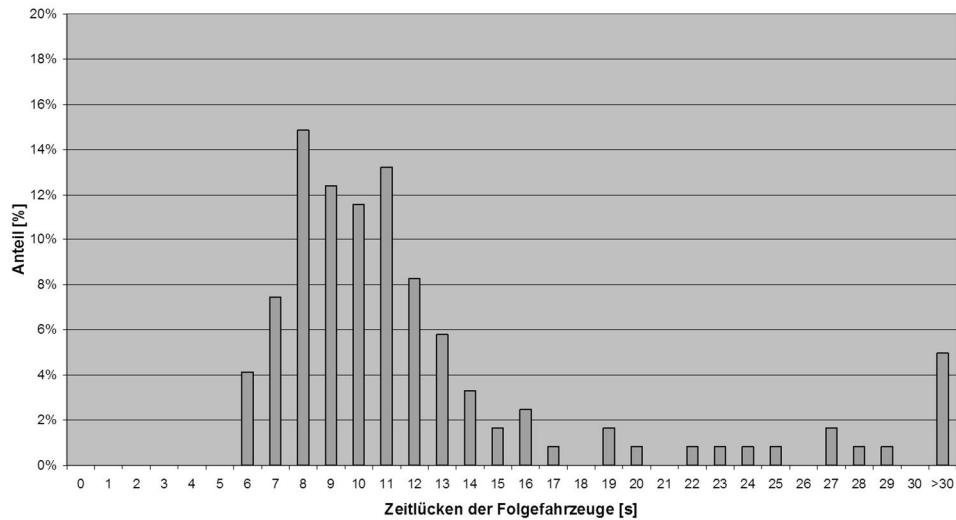


Abb. 4.43 Verteilung der Abfertigungszeiten bei Handkassierung an der Einfahrt

Wie aus der Abbildung 4.43 ersichtlich ist, kann bei der pauschalen manuellen Kassierung an der Einfahrt zunächst (bis 80%) ein steiler Anstieg und danach ein relativ flacher Verlauf der Verteilungskurve beobachtet werden. Der flache Bereich (rund 20% aller Fahrzeuge) trägt vorwiegend zur hohen Standardabweichung der Abfertigungszeiten von rund 8 Sekunden bei. Dies bedeutet, dass zum Mittelwert und somit zur ausgewiesenen Leistungsfähigkeit eine breite Streuung erwartet werden muss.

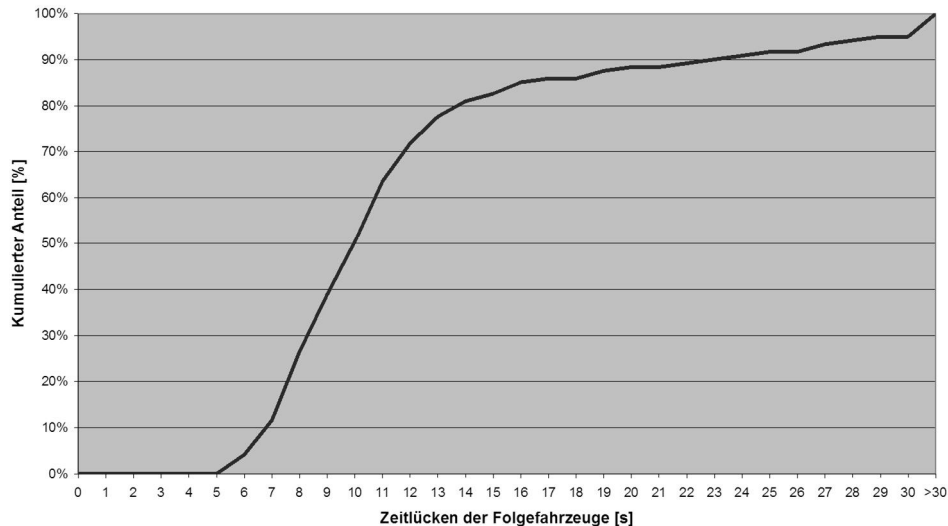


Abb. 4.44 Verteilungskurve der Abfertigungszeiten bei Handkassierung an der Einfahrt

Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Die ermittelte Leistungsfähigkeit der Handkassierung von rund 280 Fahrzeugen pro Stunde lag im Vergleich zu anderen Erhebungsergebnissen des gleichen Abfertigungstyps um ca. 15% über den Vergleichsgrößen. Die IGS⁴ ermittelte beispielsweise im Rahmen ihrer Erhebungsreihen bezüglich dem Pauschalen Kassieren an der Einfahrt eine mittlere Abfertigungszeit von 14.8 Sekunden und somit eine Leistungsfähigkeit von 243 Fahrzeugen je Stunde. Die Forschungsstelle weist aber ebenso auf die grosse Streuung der Daten hin.

Mit ein Grund für die schnelleren Abfertigungszeiten am Erhebungsstandort könnte die Gegebenheit sein, dass es sich beim Grossereignis um eine regelmässig wiederkehrende Sportveranstaltung (im Winter durchschnittlich einmal pro Woche) handelt. Dies könnte zum Vorteil haben, dass die Kundschaft sowohl das Abfertigungsprozedere wie auch den zu entrichtenden Pauschalbetrag bereits kennen und somit vorbereitet an das Kassierpersonal gelangen.

In der **SN 640 293 Parkieren – Betrieb** ist zur Handkassierung an der Einfahrt nichts vermerkt. Hingegen gibt es Angaben zur Handkassierung an der Ausfahrt (Tab. 2):

- | | |
|---|---------------------------|
| - Ausfahrtskontrolle, bezahlen aus dem Fahrzeug | 200 Fz/h, je Fahrstreifen |
| - Ausfahrtskontrolle, bezahlen eines pauschalen Betrages aus dem Fahrzeug | 250 Fz/h, je Fahrstreifen |

Als Vergleichsmöglichkeit sind in der nachfolgenden Tabelle die Kennzahlen der beiden Normenwerke wie auch das Erhebungsergebnis aufgeführt. Die Entrichtung eines Pauschalbetrages war in der SN 640 293 mit 250 Fahrzeugen pro Stunde ausgewiesen worden, was in etwa im Mittel zwischen den Kennzahlen aus der EAR 05 und den Erhebungsergebnissen steht. Geht man davon aus, dass der Zahlungsprozess an der Einfahrt ebenso lange dauert wie an der Ausfahrt, so kann weiterhin von den 250 Fahrzeugen pro Stunde ausgegangen werden.

⁴ Ingenieurgesellschaft Stolz mbH, „Untersuchung des Verkehrsablaufs an Abfertigungssystemen von Anlagen des ruhenden Verkehrs“, Forschungsprogramm Stadtverkehr, Juli 2000.

Vergleich der Erhebungswerte mit der Normgebung			
Leistungsfähigkeit (je Fahrstreifen):		Einfahrt	Ausfahrt
SN 640 293 Parkieren - Betrieb (bisher):			
Ausfahrtskontrolle, bezahlen aus dem Fahrzeug	[Fz/h]	-	200
Ausfahrtskontrolle, bezahlen eines Pauschalbetrages aus dem Fahrzeug	[Fz/h]	-	250
EAR 05:			
Handkassierung: Bezahlen des pauschalen Parkentgeltes an der Einfahrt	[Fz/h]	240	-
Erhebungsreihe	[Fz/h]	279	-
Normvorschlag:			
Bezahlung eines Pauschalbetrages aus dem Fahrzeug	[Fz/h]	250	250
Bezahlung aus dem Fahrzeug	[Fz/h]	-	200 *)

*) Zur Bestimmung der Parkgebühr, muss dem Kunden an der Einfahrt ein Parkticket mit Datum und Uhrzeit abgegeben werden. Es ist somit eine Kontrolle sowohl an der Ein- als auch Ausfahrt erforderlich

Abb. 4.45 Handkassierung - Vergleich von Norm- und Erhebungswerten

5 Fahrwege

5.1 Einleitung

Als Fahrwege werden die internen Verbindungswege einer Parkierungsanlage bezeichnet. Im Gegensatz zu den Fahrgassen grenzen an Fahrwege keine Parkfelder an und stellen das im Parkhaus übergeordnete interne Wegnetz dar.

Auf den Fahrwegen haben ausschliesslich Fahrzeuge zu verkehren. Häufig wird ein Fussgänger-
verbot erlassen, um Fussgängerströme entlang den Fahrwegen zu vermeiden.



Abb. 5.46 Fahrweg im Zweirichtungsverkehr sowie angrenzende Fahrgassen



Abb. 5.47 Interne Verbindungswege zählen auch zu den Fahrwegen

5.2 Massgebende Einflussgrössen

Als Einflussgrössen auf die Zeitlückenverteilung wurden folgende Faktoren erkannt:

Anlage spezifisch:

- Geometrie/Linienführung
- Geschwindigkeitsbegrenzung
- Sichtverhältnisse
- Einrichtungs-/Gegenverkehr
- Signalisation

Fahrer spezifisch:

- Fahrkunst
- Geschwindigkeit
- Benutzertyp

Umfeld spezifisch:

- Kapazität interner Knoten (Verknüpfungspunkt Fahrgasse ↔ Fahrweg)
- Anwesenheit von Fussgängern
- Beleuchtung
- Überlastung Ausfahrt

5.3 Empirische Untersuchungen

5.3.1 Methodik

Fahrwege von Parkierungsanlagen sind mit freien Strecken vergleichbar, nur mit dem Unterschied, dass sie Parking interne Angebotelemente verbinden.

Die Modellierung kann somit sehr einfach erfolgen. Wiederum sind zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit die Fahrzeugabstände zu erfassen. Dazu sind die Zeitlücken zwischen den Fahrzeugen an einem vordefinierten Querschnitt erhoben worden.

$$t_{ZL(x)} = \Delta(T_{A, Fz(x)} - T_{A, Fz(x-1)}) \quad (1)$$

$t_{ZL(x)}$: Zeitlücke x
 T_A : Zeitpunkt des Passierens am Messquerschnitt A
 Index A: Messquerschnitt A

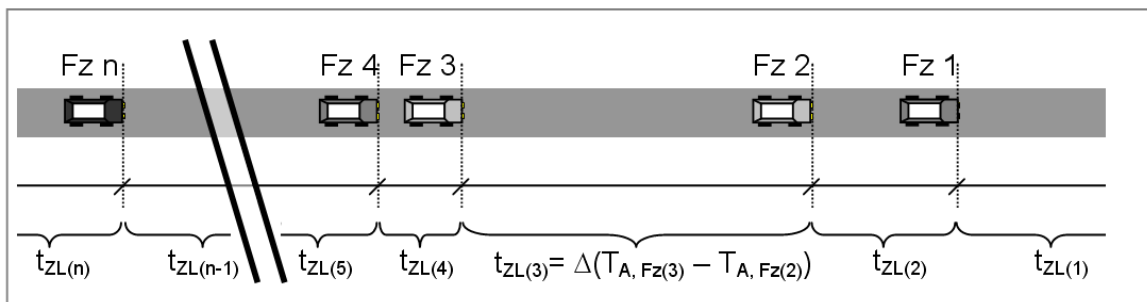


Abb. 5.48 Zeitlücken im Fahrzeugstrom mit n Fahrzeugen

5.3.2 Gerade Fahrwege

Wie gross der durchschnittliche Fahrzeugabstand ist, galt es anhand von Beobachtungen zu verifizieren. Dazu mussten ausreichend lange Fahrwege ausgesucht werden, um die Ergebnisse nicht durch angrenzende Parkierungselemente zu verfälschen. Ebenso galt es eine Beobachtungsstrecke auszuwählen, welche über einen stationären Zufluss verfügen kann und somit nicht in unmittelbarer Nähe von Abfertigungsanlagen liegt. Beobachtet wurde sowohl im Parkhaus des Glatt Zentrum (Querverbindungen der Parkhausseiten) in Wallisellen als auch im Shoppyländ in Schönbühl. Erhoben wurde der zeitliche Abstand nachfolgender Fahrzeuge. Zur Berechnung der Leistungsfähigkeit waren insbesondere Folgefahrzeuge, welche unmittelbar einem vorderen Fahrzeug folgen, von Interesse. Sogenannte Einzelfahrzeuge, welche mit einem grossen zeitlichen Abstand zum vorangegangenen Fahrzeug einen Querschnitt passieren, wurden zwar erfasst, aber zur Hochrechnung nicht weiter berücksichtigt.

Fahrzeugabfolge	Erfassungszeit Querschnitt A			Zeitlücke	Folgefahrzeug?
	[hh]	[min]	[ss]		
1. Fahrzeug	11	30	25.24	-	Einzelfahrzeug
2. Fahrzeug	11	31	12.47	41.33	Einzelfahrzeug
3. Fahrzeug	11	03	16.02	2.47	Folgefahrzeug
4. Fahrzeug	11	03	18.91	2.35	Folgefahrzeug
5. Fahrzeug	11	03	22.28	3.21	Folgefahrzeug
6. Fahrzeug	11	07	45.88	53.60	Einzelfahrzeug
7. Fahrzeug	11	07	49.45	3.11	Folgefahrzeug
8. Fahrzeug	11	07	52.65	2.84	Folgefahrzeug
9. Fahrzeug	11	09	07.56	30.27	Einzelfahrzeug
10. Fahrzeug	11	09	29.99	12.69	Einzelfahrzeug
...					
n. Fahrzeug	11	30	00.00

Abb. 5.49 Unterscheidung Einzel- / Folgefahrzeuge - Ausschnitt aus Erhebungsreihe

Resultate

Shopyland, Schönbühl (BE):

Anzahl Folgefahrzeuge:	79 Fz
Kürzeste Zeitlücke:	1.89 s
Längste Zeitlücke:	278.23 s
Mittlere Zeitlücke *):	3.22 s
Zeitlücke (20%):	2.56 s

Glatt Zentrum, Wallisellen (ZH):

Anzahl Folgefahrzeuge:	31 Fz
Kürzeste Zeitlücke:	1.71 s
Längste Zeitlücke:	533.78 s
Mittlere Zeitlücke *):	3.40 s
Zeitlücke (20%):	2.71 s

*) Mittelwert aus allen Folgefahrzeugen

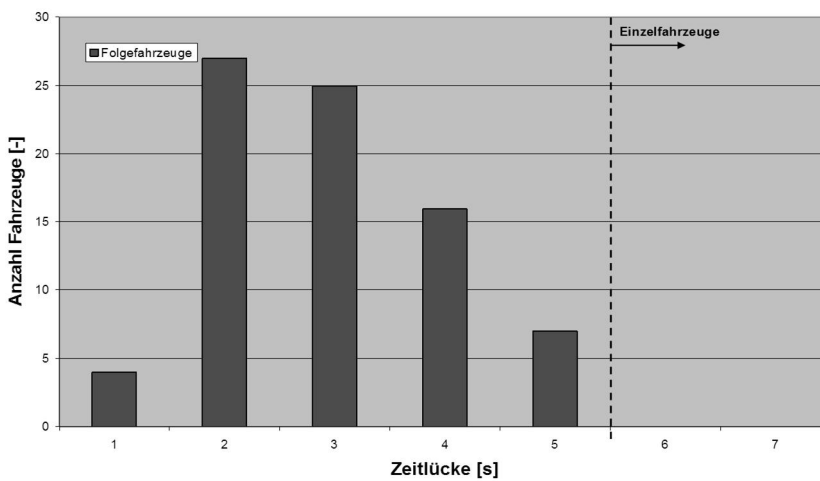


Abb. 5.50 Zeitlücken von Folgefahrzeugen auf einem geraden Fahrweg (Erhebungsstandort: Schönbühl)

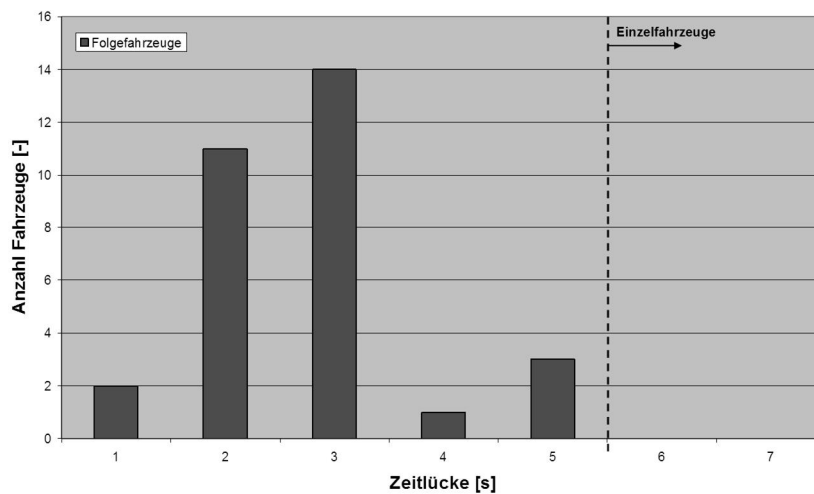


Abb. 5.51 Zeitlücken von Folgefahrzeugen auf einem geraden Fahrweg (Erhebungsstandort: Glatt Zentrum)

Die Zeitlücke der Folgefahrzeuge variieren an beiden Standorten sehr stark. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass Fahrzeuge nicht immer unmittelbar dem Vorderfahrzeug aufrücken und es nicht zu einer eigentlichen Kolonnenfahrt mit geringen Zeitabständen kommt. Dennoch ist gerade im Bereich zwischen 2 und 3 Sekunden eine Anhäufung auszumachen. Das heisst, dass Fahrzeuge, wenn diese in einem geschlossenen Fahrzeugpulk einen Querschnitt passieren, vorwiegend in diesem Zeitabstand verkehren. Die mittlere Zeitlücke der Folgefahrzeuge (Einzelfahrzeuge nicht berücksichtigt) betrug im Shoppyland 3.22 Sekunden, jene im Glatt Zentrum 3.40 Sekunden. Zu bemerken ist, dass beim letzteren Standort deutlich weniger Folgefahrzeuge beobachtet werden konnten, die Verteilung insgesamt jedoch ähnlich wie im Shoppyland Schönbühl war.

Wird von den erhobenen mittleren Zeitlücken ausgegangen, so ergibt sich eine Leistungsfähigkeit von 1'118 resp. 1'058 Fahrzeuge pro Stunde, die einen Querschnitt eines geraden Fahrweges passieren können.

Plausibilitätsprüfung - Theoretischer Ansatz

Zur Plausibilisierung der erhobenen Werte werden nachfolgend theoretische Ansätze als Vergleich herangezogen. Wird von einem mittleren Fahrzeugabstand von 2 Fahrzeuglängen (2x 5m) zum Vorderfahrzeug (selbst 5m) und einer durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h ausgegangen, so ergibt sich ein zeitlicher Abstand von 2.70 Sekunden. Auf die Stunde hochgerechnet ergeben sich rund 1'333 Fahrzeuge, die einen Querschnitt durchfahren können. Wächst der mittlere Fahrzeugabstand auf 3 Fahrzeuge an, so reduziert sich die Querschnittsbelastung auf 1'000 Fahrzeuge je Stunde.

v [km/h]	v [m/s]	Δs [m]	Δt [sek]	Q [Fz/h]
20	5.6	15	2.7	1'333
25	6.9	15	2.2	1'667
30	8.3	15	1.8	2'000

v [km/h]	v [m/s]	Δs [m]	Δt [sek]	Q [Fz/h]
20	5.6	20	3.6	1'000
25	6.9	20	2.9	1'250
30	8.3	20	2.4	1'500

Abb. 5.52 Leistungsfähigkeit von geraden Fahrwegen berechnet nach einem theoretischen Ansatz

IV. Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Die Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb weist für gerade Fahrwege eine Leistungsfähigkeit von 500 bis 800 Fahrzeuge pro Stunde aus. Dies entspricht einem Fahrzeug alle 7.2 Sekunden resp. 4.5 Sekunden. Die vorgegebenen Werte liegen deutlich unter den beobachteten und hochgerechneten Erhebungsergebnisse, welche zeitliche Abstände zwischen 2.7 und 3.4 Sekunden hervorbrachten.

Unter dem Vorbehalt, dass am Ende des Fahrweges der Verkehrsstrom ungehindert abfliessen kann und entlang des Fahrweges keine Fahrgassen erschlossen werden, dürfte die theoretische Leistungsfähigkeit von geraden Fahrwegen in der Grössenordnung zwischen 1'100 bis 1'300 Fahrzeugen pro Stunde liegen. Die Praxis dürfte hingegen mit den zahlreichen Knotenpunkten wie etwa bei den Verknüpfungen zu den Fahrgassen ein anderes Bild zeigen. Inwieweit die theoretische Leistungsfähigkeit reduziert wird, hängt von der jeweiligen Knotenbelastungen ab. Auf weiterführende Untersuchungen an Parking internen Knoten wurde jedoch verzichtet, da der Aufwand den Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit bei weitem überstiegen hätte.

Das Road Research Laboratory⁵ hat in ihrer Arbeit RRL Report LR 221 Parking: dynamic capacities of car parks die Problematik mit T-Knoten innerhalb der Parkierungsanlage untersucht. Die Leistungsfähigkeit ist durch die Zufahrtsbelastungen der einzelnen Knotenarme bestimmt. Die maximale Fahrzeugmenge, welche aus einer Fahrgasse in einen Fahrweg einmünden kann, wird mit 667 Fahrzeugen pro Stunde angegeben. Die Leistungsfähigkeit des Fahrweges wird mit Werten zwischen 620 und 1'250 Fahrzeugen pro Stunde angegeben, wobei der höchste Wert einem ungestörten, freien Fluss entspricht.

Vergleich der Erhebungswerte mit der Normgebung		
Leistungsfähigkeit (je Fahrstreifen):		
SN 640 293 Parkieren - Betrieb (bisher):		
Gerade	500...800	[Fz/h]
EAR 05:		
Zu Fahrwegen werden keine Leistungswerte angegeben.		
RRL:		
T-Knoten: Ungestörter Fahrweg	1'250	[Fz/h]
T-Knoten: mit Verkehr aus Fahrgasse	620	[Fz/h]
Erhebungsreihe (Hochrechnung)	1'050...1'350	[Fz/h]
Normvorschlag:		
Gerade	600...900 *)	[Fz/h]

*) kann nachgewiesen werden, dass der Verkehrsabfluss gewährleistet ist, so können an Geraden ohne Einmündungen bis zu 1'200 Fz/h verkehren.

Abb. 5.53 Gerade Fahrwege - Vergleich von Norm- und Erhebungswerten

Die Untersuchungen aus dem Report LR221 verdeutlichen, dass die Grössenordnung der bisherigen Angaben in der SN 640 293 stimmt. Die Bandbreite wird im neuen Normvorschlag um 100 Fahrzeuge pro Stunde erhöht, da der untere Wert immer noch im Bereich der nach RRL ausgewiesenen Belastung eines T-Knotens entspricht.

⁵ RRL: Road Research Laboratory, Report LR 221 Parking: dynamic capacities of car parks, P.B. Ellson, A.M.I.M.I., Crowthorne, Berkshire, 1969.

5.3.3 Fahrwege in Kurven

In Parkierungsanlagen kommen Kurven vorwiegend auf den Zu- und Wegfahrtswegen wie auch im Anschluss an Rampen vor. Die Ablenkung variiert häufig zwischen 90° und 180°. In Anlehnung an die bisherige Norm SN 640 293 – Parkieren Betrieb wird wiederum zwischen Aussenradien unterschieden, die einerseits 20m oder grösser oder andererseits kleinere Abmessungen als 20m aufweisen. Analog den geraden Fahrwegen spielt der durchschnittliche Fahrzeugabstand eine wesentliche Rolle, den es gilt zu bestimmen.

Shopyland, Schönbühl (BE):

Anzahl Folgefahrzeuge:	34 Fz
Kürzeste / längste Zeitlücke:	2.89 s / 175.11 s
Mittlere Zeitlücke / Zeitlücke (20%):	4.63 s / 3.25 s

*) Mittelwert aus allen Folgefahrzeugen

Theoretischer Ansatz und Annahmen

Im Kurvenbereich sind die Fahrzeugabstände generell höher als bei geraden Fahrstrecken, was vor allem auf geringere Sichtweiten sowie das Manövrieren selbst zurückzuführen ist. Geht man von einem mittleren Fahrzeugabstand von 4 Fahrzeuglängen (3x 6m) zum Vorderfahrzeug (selbst 6m) und einer Geschwindigkeit von 20 km/h ergibt sich ein zeitlicher Abstand von 5.8 Sekunden. Auf die Stunde hochgerechnet ergeben sich rund 833 Fahrzeuge, die einen Querschnitt durchfahren können. Sinkt die durchschnittliche Geschwindigkeit auf 15 km/h bei gleich bleibenden Fahrzeugabständen, so reduziert sich die Querschnittsbelastung auf 625 Fahrzeuge je Stunde.

v [km/h]	v [m/s]	Δs [m]	Δt [sek]	Q [Fz/h]
20	5.6	30	5.4	667
20	5.6	24	4.3	833

v [km/h]	v [m/s]	Δs [m]	Δt [sek]	Q [Fz/h]
15	4.2	30	7.2	500
15	4.2	24	5.8	625

Abb. 5.54 Leistungsfähigkeit von Fahrwegen in Kurven (oben: für $R_A \geq 20m$, unten: $R_A < 20m$) berechnet nach einem theoretischen Ansatz

IV. Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Die Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb weist für Fahrwege und Rampen mit Radien, die grösser als 20m sind, eine Leistungsfähigkeit von 500 bis 800 Fahrzeuge pro Stunde aus. Für Radien die kleiner/gleich 20m sind liegt die Bandbreite zwischen 300 und 500 Fahrzeuge je Stunde.

Vergleich der Erhebungswerte mit der Normgebung		
Leistungsfähigkeit (je Fahrstreifen):		
SN 640 293 Parkieren - Betrieb (bisher):		
Ra \geq 20m	500...800	[Fz/h]
Ra < 20m	300...500	[Fz/h]
EAR 05:		
Zu Fahrwegen werden keine Leistungswerte angegeben.		
Erhebungsreihe (Hochrechnung)		
Ra \geq 20m	-	[Fz/h]
Ra < 20m	777	[Fz/h]
Normvorschlag:		
Fahrwege in Kurven	500...800	[Fz/h]

Abb. 5.55 Fahrwege in Kurven - Vergleich von Norm- und Erhebungswerten

6 Rampen

6.1 Einleitung

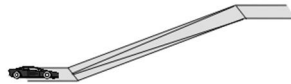
Die Rampe ist ein Parkierungselement zur Überwindung einer Höhendifferenz und kann im Gesamtsystem einer Parkierungsanlage je nach Anordnung eine unterschiedliche Funktion einnehmen. Im Bereich von Zu-/Wegfahrten dient die Rampe als Erschließung der Parkierungsanlage und ist vor allem nach den Bedingungen an den Ein-/Ausfahrten zu konzipieren. Die Rampen im Gebäude innern dienen hingegen als Verbindung zwischen zwei oder mehreren Parkgeschossebenen und müssen nach den Anforderungen der internen Verkehrsführung definiert werden.

Als Merkmal gilt es die Form der Rampen zu unterscheiden, welche massgeblich die Leistungsfähigkeit mitbestimmen. Am häufigsten kommen in der Schweiz die geraden Rampen vor, gefolgt von den gewundenen Rampen. Eine untergeordnete Rolle spielen die sogenannten Parkrampen (Rampen mit anschliessenden Parkfeldern). Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden vor allem die beiden erst genannten Grundmodule analysiert, während die Parkrampen nicht weiter untersucht wurden.

Gewundene Rampe



Gerade Rampe



Rampe mit Parkplätzen
(Parkrampe)

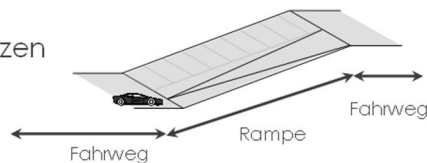


Abb. 6.56 Die drei Rampen Grundmodule in der Übersicht



Abb. 6.57 Foto einer Parkrampe in Zürich (Parkhaus Jelvoli)

6.2 Empirische Untersuchungen

Da die Verkehrsnachfrage auf Rampen von Parkhäusern selten hoch genug ist, können kaum Abläufe beobachtet werden, die aufzeigen, wie die Anlagen im Bereich deren Kapazitätsgrenzen funktionieren. So waren während den Beobachtungszeiten häufig längere Fahrzeugabstände registriert worden, welche nicht auf die möglichen Kapazitätsgrößen schliessen lassen. Vereinzelt konnten mehrere Fahrzeuge in einer Reihe beobachtet werden. Die Analysen wie auch die Auswertungen beziehen sich vor allem auf die gewonnenen Kennzahlen der Folgefahrzeuge.

6.2.1 Gerade Rampen

An geraden Rampen unterschiedlicher Neigungen wurden Erhebungen durchgeführt. Analog zu den Erhebungen an den Abfertigungsanlagen waren die Folgezeitlücken zwischen den einzelnen Fahrzeugen ermittelt worden.

Die Resultate zeigen, dass analog zur Strasse auch auf Rampen sehr dicht dem vorangehenden Fahrzeug gefolgt werden kann. So waren beispielsweise 7 Fahrzeuge mit je einer Folgezeitlücke von weniger als 3 Sekunden beobachtet worden, was eine theoretische Leistungsfähigkeit von mehr als 1'000 Fahrzeugen pro Stunde ergäbe. In der Praxis dürfte hingegen kaum eine Fahrzeugreihe über eine Bemessungsstunde hin in solch geringen Abständen eine Rampe befahren. Gründe hierzu sind nicht bei der Rampe selbst zu suchen, sondern bei anderen, angrenzenden Parkierungselementen. So kann beispielsweise eine Abfertigungsanlagen unmittelbar vor einer Rampe oder Knoten vor und nach Rampen das Leistungsvermögen der Anlage bestimmen. Die Anordnung und Reihenfolge der Parkierungselemente spielt somit eine wichtige Rolle wie viele Fahrzeuge überhaupt in einer Zeiteinheit auf eine Rampe gelangen können.

Erhebungen wurden sowohl in Bern (Parkhaus EWAG), Aubonne (Parkhaus IKEA) wie in Schönbühl (OBI Center) durchgeführt. Aus den ersten beiden Erhebungen konnten kaum verwertbare Folgezeitlücke ermittelt werden, da der Zustrom sehr sporadisch war. Einzig in Schönbühl konnten ausreichend viele Fahrzeuge in kurzen Abständen beobachtet und registriert werden. Die kürzeste Zeitlücke zwischen zweier Fahrzeuge betrug lediglich 2.14 Sekunden. Anhand der erfassten Zeitlücken von Folgefahrzeugen konnte eine mittlere Zeitlücke von 5.28 Sekunden bestimmt werden, was hochgerechnet einer Kapazität von 680 Fahrzeugen pro Stunde entspricht.

Fachmarkt OBI, Schönbühl (BE)

Aussenradius / Ø Neigung : ∞ m / 8.1 %

Anzahl Fahrzeuge: 77 Fz

Kürzeste / längste Zeitlücke: 2.14 s / 53.84 s

Mittlere Zeitlücke *): 5.28 s

*) Mittelwert aus allen Folgefahrzeugen



Abb. 6.58 Fotos von geraden Rampen (links: EWAG Bern, rechts: IKEA Aubonne)

6.2.2 Gewundene Rampen

Die bisherige Norm SN 640 293 Parkieren Betrieb unterscheidet Rampen mit Aussenradien von weniger und solchen mit Aussenradien grösser gleich 20 Meter. Die Leistungsfähigkeit von den engeren Rampen war in einer Bandbreite von 300 bis 500 Fahrzeugen ausgewiesen. Für die grosszügigeren Rampen konnte von einer Leistungsfähigkeit von 500 bis 800 Fahrzeugen pro Stunde ausgegangen werden.

Erhebungen zu gewundenen Rampen fanden an den Standorten Basel (Messe Parking), Flughafen Zürich Kloten wie auch in Schönbühl (Shopyland) statt. Analog zu den geraden Rampen waren wiederum an den beiden ersten Standorten zu geringe Zufahrtsintensitäten zu beobachten, die kaum ausreichend Aufschluss über die Kapazitäten geben.

In Schönbühl konnten ausreichend Daten von zwei gewundenen Rampen (eine aufwärts, die andere abwärts) gewonnen werden. Beide Rampen weisen einen Aussenradius von ungefähr 10m auf. Die kürzeste Folgezeitlücke war mit einem Wert von weniger als 4 Sekunden ermittelt worden, was aufzeigt, dass auch bei engen Rampen dichte Fahrzeugabstände möglich sind. Mehrheitlich waren allerdings bei Folgefahrzeugen etwas grössere Abstände von etwa 2 bis 3 Fahrzeuglängen zu beobachten. In welchem Abstand dem vorangehenden Fahrzeug gefolgt wird, ergibt sich gemäss den Beobachtungen vor allem aus sicherheitsbewussten Fahrstil der Fahrzeuglenker, mitunter den gegebenen Sichtweiten. Dies wiederum erstaunt nicht, da bei Anlagen mit grosszügigeren Radien dichter dem vorangehenden Fahrzeug gefolgt wird. Ein Einfluss der Fahrgeschwindigkeit konnte nicht festgestellt werden.

Bei gewundenen Rampen mit Aussenradien von weniger als 20m kann durchwegs in einem geringen Abstand dem vorangehenden Fahrzeug gefolgt werden, was ähnlich den geraden Rampen, theoretisch betrachtet, höhere Leistungsfähigkeiten zuliessen. In Schönbühl konnte eine mittlere Folgezeitlücke von 5.78s bestimmt werden. Hochgerechnet auf eine Bemessungsstunde würde dies eine Leistungsfähigkeit von 620 Fahrzeugen pro Stunde entsprechen. Berücksichtigt man die Bedingungen an den Verknüpfungspunkten wie beispielsweise an einem Knoten oder einer folgenden Einmündung in eine Fahrgasse, so reduziert sich die Durchflussmenge nochmals. Bei einer Rampe mit Aussenradius kleiner 20m liegt die Leistungsfähigkeit in der Bandbreite von 400 bis 600 Fahrzeuge pro Stunde, was etwas über dem bisher ausgewiesenen Wert liegt.

Shopyland, Schönbühl (BE)

Aussenradius:	10.00 m
Anzahl Fahrzeuge:	42 Fz
Kürzeste / längste Zeitlücke:	3.92 s / 129.71 s
Mittlere Zeitlücke *):	5.78 s

*) Mittelwert aus allen Folgefahrzeugen

6.2.3 Parkrampen

Die Leistungsfähigkeit einer Parkrampe lehnt sich aufgrund der Bewegungsabläufe eher an jene einer Fahrgasse als einer Rampe an. Zu beachten ist, dass die Fahrgasse in der Parkrampe geneigt ist und somit bei Leistungsbetrachtungen eher die unteren Werte der ausgewiesenen Bandbreiten anzuwenden sind.

Parkrampen wurden indessen im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit nicht weiter untersucht.

7 Fahrgassen

7.1 Einleitung

Die Leistungsfähigkeit von Fahrgassen ist im Gegensatz zu jener der übrigen Parkierungselementen nicht nur durch die Infrastruktur selbst (Angebotelement) bestimmt, sondern ergibt sich aus betrieblichen Einflussgrößen durch eine Kombination von Angebot (Grundkapazität) und Nachfrage (Minderung der Kapazität). Eine weitere Eigenheit der Fahrgasse stellt die Problematik der Systemabgrenzung dar. Gemäss Grundlagennorm SN 640 017a wird die Leistungsfähigkeit einer Verkehrsanlage auf einen definierten Abschnitt ausgelegt (vgl. Auszug SN 640 017a).

Definition der Leistungsfähigkeit gemäss SN 640 017a

„Die Leistungsfähigkeit einer Verkehrsanlage ist die grösstmögliche Verkehrsstärke, von der erwartet werden kann, dass sie einen Abschnitt dieser Anlage während eines gegebenen Zeitintervalls, bei gegebenen Strassen-, Verkehrs- und Betriebsbedingungen, durchfahren kann.“

Bei Fahrgassen stellt sich die Abgrenzungsproblematik, was als Abschnitt zu bezeichnen ist respektive wo die Grenzen des Systems Fahrgasse verlaufen. Durch die Gegebenheit, dass Fahrzeuge je nach Blickwinkel und Zeitverständnis aus dem System ausscheiden (neu parkierte Fahrzeuge) respektive eintreten (ausfahrende Fahrzeuge) kann sich innerhalb des Abschnittes eine Unstetigkeit der Fahrzeugmenge ergeben. Dies hat unter anderem zur Folge, dass ohne Kenntnisse über die genauen Parkfeldpositionen der ein- und ausfahrenden Fahrzeuge die Querschnittsbelastungen entlang der Fahrgasse unterschiedlich ausfallen können und die Verkehrsmenge nicht eindeutig quantifiziert werden kann. Dennoch soll in der Folge die Fahrgasse als **ein Abschnitt** betrachtet werden, der im Gegensatz zu anderen Strassenanlagen in sich offen sein kann.

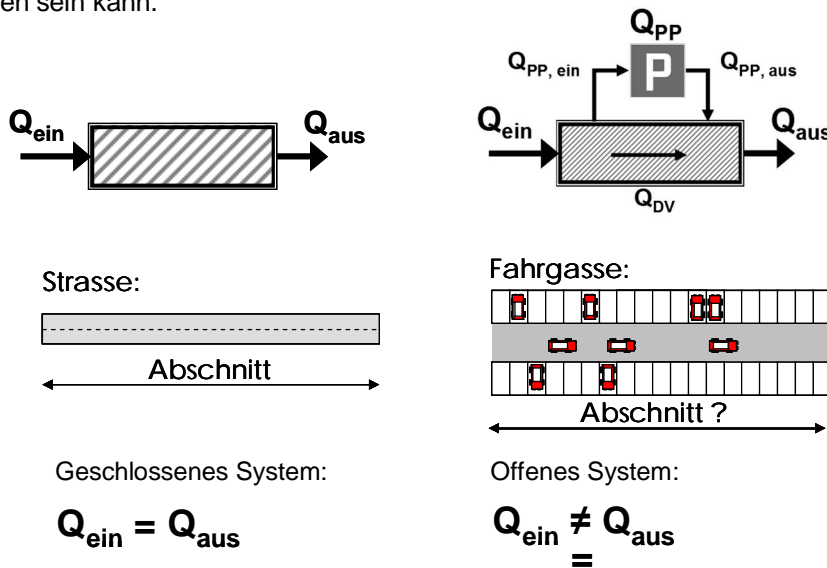


Abb. 7.59 Fahrgassen als offene Systeme

- (1) $Q_{\text{ein}} = Q_{\text{pp,ein}} + Q_{\text{DV}}$
- (2) $Q_{\text{aus}} = Q_{\text{pp,aus}} + Q_{\text{DV}}$

- Q_{ein} : Menge der in die Fahrgasse einfahrenden Fahrzeuge pro Zeiteinheit
 Q_{aus} : Menge der aus der Fahrgasse fahrenden Fahrzeuge pro Zeiteinheit
 $Q_{\text{pp,t}}$: Anzahl parkierter Fahrzeuge zum Zeitpunkt t (Belegungsziffer)
 $Q_{\text{pp,ein}}$: Anzahl einparkierter Fahrzeuge je Zeiteinheit
 $Q_{\text{pp,aus}}$: Anzahl ausparkierter Fahrzeuge je Zeiteinheit
 Q_{DV} : Durchgangsverkehr einer Fahrgasse je Zeiteinheit

7.2 Fahrgasse als System betrachtet

Der Zustrom in eine Fahrgasse soll als Q_{ein} , die Menge aller aus der Fahrgasse ausfahrenden Fahrzeuge als Q_{aus} bezeichnet werden. In einem geschlossenen System entspricht die zugefahrene Verkehrsmenge (Q_{ein}) der Anzahl ausgefahrener Fahrzeuge (Q_{aus}). Anders bei der Fahrgasse; hier ergibt sich nur unter den folgenden Bedingungen keine Differenz der beiden Ausgangsgrößen:

$$(3) \quad \Delta Q_{\text{FG}} = Q_{\text{ein}} - Q_{\text{aus}}$$

Geschlossenes System: $\Delta Q_{\text{FG}} = 0$

$$(1), (2) \text{ in } (3) \quad \Delta Q_{\text{FG}} = Q_{\text{pp,ein}} - Q_{\text{pp,aus}} = 0$$

$$Q_{\text{pp,ein}} = Q_{\text{pp,aus}}$$

- I.) Die Anzahl der parkierten Fahrzeuge vor und nach der massgebenden Zeiteinheit identisch ist (= Nullsumme der Parkplatzbelegung $Q_{\text{PP},0} = Q_{\text{PP},1}$).
- II.) Sonderfall: keine Parkierungsaktivität (Ein-/Ausparken) stattfindet.

Offenes System: $\Delta Q_{\text{FG}} \neq 0$

$$(1), (2) \text{ in } (3) \quad \Delta Q_{\text{FG}} \neq Q_{\text{pp,ein}} - Q_{\text{pp,aus}} \neq 0$$

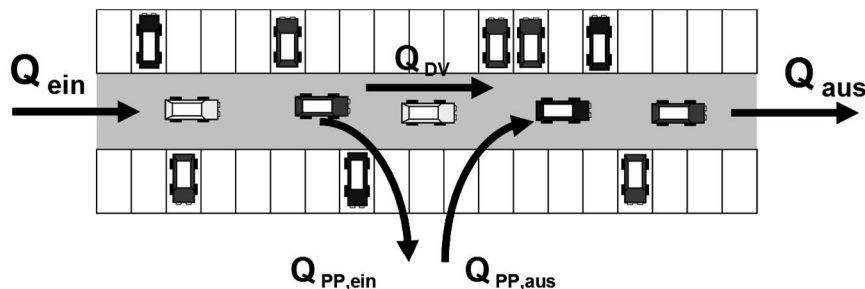
$$Q_{\text{pp,ein}} \neq Q_{\text{pp,aus}}$$

- III.) In all den übrigen Fällen resultiert eine Differenz zwischen Q_{ein} und Q_{aus} , womit es sich bei der Fahrgasse um ein offenes System handelt. Ergibt sich aus der Differenz ein positiver Wert, so hat während der Beobachtungszeit die Anzahl parkierter Fahrzeuge zugenommen resp. bei negativem Wert abgenommen:

- für $Q_{\text{pp,ein}} > Q_{\text{pp,aus}}$: Zunehmende Parkfeldbelegung
- für $Q_{\text{pp,ein}} < Q_{\text{pp,aus}}$: Abnehmende Parkfeldbelegung

Modellierung der Fahrgasse

Die Fahrzeuge, welche sich im Raum der Fahrgasse und den angrenzenden Parkfeldern bewegen, können nach deren Bewegungsmotiven unterschieden werden. So werden in der Folge die ein- und ausparkierenden Fahrzeuge wie auch jene, die nur durch die Fahrgasse zirkulieren, separat betrachtet. Ferner gibt es noch die ruhenden Fahrzeuge, welche in der Beobachtungsperiode an Ort und Stelle parkiert bleiben. Die Unterscheidung wird hauptsächlich aufgrund der verschiedenen Verhaltensweisen und den sich ergebenden Kapazitätsgrößen erforderlich.



Legende:

	Einparkende
	Ausparkende
	Durchfahrende
	Ruhende Fahrzeuge

Abb. 7.60 Modellierung der Fahrgasse im Einrichtungsverkehr

Verkehrsverteilung innerhalb der Fahrgasse im Einrichtungsverkehr

Geht man davon aus, dass alle Parkfelder entlang einer Fahrgasse die selbe Attraktivität und somit die selbe Belegungswahrscheinlichkeit haben, so nimmt die Belastung der Parkplatz suchenden Fahrzeuge von Beginn der Fahrgasse bis zum letzten Parkfeld ab. Genau umgekehrt verhält sich die Verteilung der ausfahrenden Fahrzeuge, während die Verkehrsbelastung der durchfahrenden Fahrzeuge über die gesamte Fahrgasse konstant bleibt.

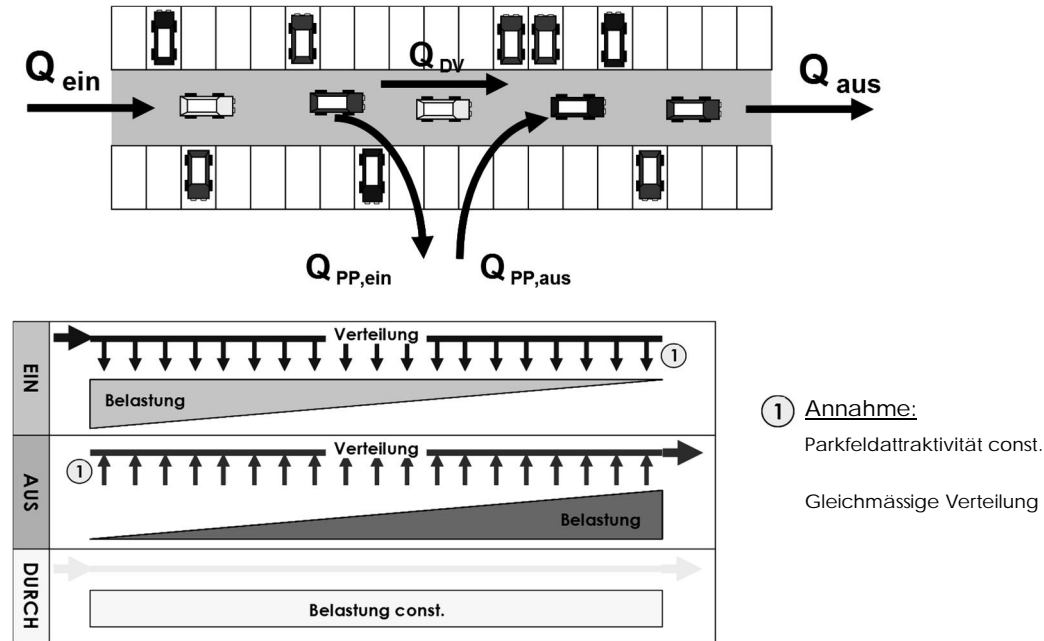


Abb. 7.61 Verkehrsverteilung innerhalb einer Fahrgasse im Einrichtungsverkehr

Durch die Überlagerung der drei Belastungsvariablen ergibt sich die Gesamtbelastung entlang der Fahrgasse. In Fahrgassen im Einrichtungsverkehr ergibt sich unter der Prämisse gleicher Parkfeldattraktivität eine Fahrgassenbelastung, welche sich aus dem Mittelwert der ein- und ausfahrenden Fahrzeuge zuzüglich dem Durchgangsverkehr bestimmen lässt.

Fahrgassen im Gegenverkehr

Anders kann sich die Situation in Fahrgassen mit Gegenverkehr zeigen: Je unsymmetrischer die Nachfrage an den Fahrgassenzufahrten ist, desto mehr überlagert sich das Fahrtenaufkommen ausfahrender und einfahrender Fahrzeuge.

Ein Extremfall stellt die Situation dar, in welcher alle Fahrzeuge über nur eine Zufahrt verkehren, dann müssten zur Bestimmung der Fahrgassenbelastung die ein- wie auch ausfahrenden Fahrzeuge mit dem vollen Wert zum Durchgangsverkehr addiert werden.

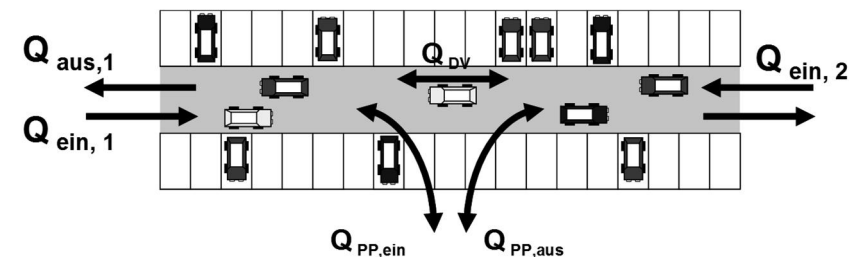


Abb. 7.62: Nicht eindeutige Verkehrsverteilung innerhalb einer Fahrgasse im Zweirichtungsverkehr

Systemabgrenzung

Die Fahrgasse ist seitlich zu den Parkfeldern hin begrenzt und mündet an den Stirnseiten in der Regel an Fahrwege an. Der Verknüpfungspunkt stellt verkehrstechnisch ein Knoten dar. Die Leistungsfähigkeit der Fahrgassenausfahrt ist somit von der Grundbelastung auf dem Fahrweg abhängig.

Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit einer Fahrgasse wurde zunächst von einem unbegrenzten Zu- und Abfluss ausgegangen. Es sind bei den Berechnungen keine hemmenden Faktoren anderer Parkierungselemente berücksichtigt worden.

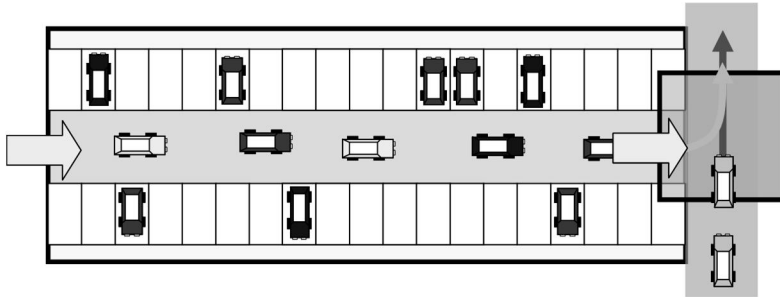


Abb. 7.63 Systemabgrenzung der Fahrgasse – Einmündungsknoten nicht berücksichtigt

Die ermittelten Kapazitätswerte von den Fahrgassen sollen zur Plausibilisierung mit Kennwerten bei Einmündungen (in der Regel T-Knoten) verglichen werden. Die Kapazität eines T-Knotens beträgt gemäss RRL rund 1'250 Fz/h, solange auf dem Fahrweg keine Fahrzeuge verkehren. Mündet die Fahrgasse in einen Fahrweg, der selbst stark belastet ist, so reduziert sich die Kapazität der Fahrgasse zunehmend. Sind die Fahrzeuglenker aus der Fahrgasse bei der Einmündung in den Fahrweg nicht vortrittsberechtigt, so beträgt nach RRL die Kapazität rund 620 Fahrzeuge pro Stunde.

7.3 Massgebende Kenngrössen von Fahrgassen

7.3.1 Grundkapazität

Theoretischer Hintergrund

Findet keine Parkierungsaktivität (Ein- / Ausparken) statt, so kann theoretisch eine geschlossene Fahrzeugkolonne ungehindert durch die Fahrgasse zirkulieren, wodurch ein ähnlicher Verkehrsablauf wie bei den Fahrwegen entsteht. Die theoretisch maximal mögliche Fahrzeugmenge, welche durch die Fahrgasse verkehren kann, ist durch die Fahrgeschwindigkeit sowie den Fahrzeugabstand respektive durch den zeitlichen Abstand der Folgefahrzeuge gegeben (analog der Leistungsfähigkeit auf offener Strecke). Da bei diesem Prozess keine Kapazitätsreduzierenden Einflüsse wie ein- oder ausfahrende Fahrzeuge die Leistungsfähigkeit mindern, wird in der Folge von der Grundkapazität der Fahrgasse gesprochen.

Vergleich Fahrgasse ↔ Fahrweg

Obschon der Verkehrsablauf in etwa jenem der Fahrwege entspricht, kann die Leistungsfähigkeit einer Fahrgasse (auch ohne Parkierungsvorgänge) nicht mit jener des Fahrweges verglichen werden. Dies ist unter anderem durch die teilweise geringere Fahrgeschwindigkeiten sowie die generell grösseren Fahrzeugabstände zu erklären.

7.3.2 Minderung der Leistungsfähigkeit durch Parkierungsvorgänge

Jeder Parkierungsvorgang bedarf einer bestimmten Zeit, während dieser in der Regel die nachfolgenden Fahrzeuge in der Fahrgasse behindert werden. Die Fahrzeugkolonne (Grundkapazität) kommt ins Stocken, steht für eine bestimmte Zeit und setzt sich wieder in Bewegung. Dieses stop and go senkt die Durchflussrate und mindert die Leistungsfähigkeit der Fahrgasse. Da die Minderung resp. der Störungsgrad durch die Anzahl der Parkierungsmanöver (Nachfrage) bestimmt wird, ist die Leistungsfähigkeit einer Fahrgasse auch von der Nachfrage abhängig.

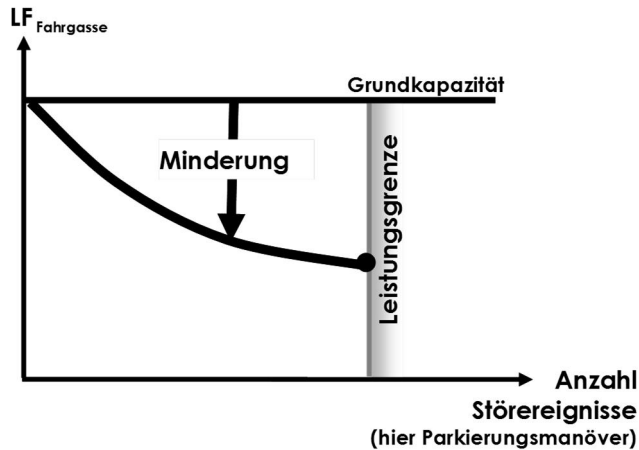


Abb. 7.64 Leistungsfähigkeit von Fahrgassen = Grundkapazität mit Minderung durch Störereignisse

7.3.3 Einflussfaktoren

Welche Faktoren im Zusammenhang mit Störereignissen massgebend werden können und somit einen Einfluss auf die Minderung und schliesslich auf die Leistungsfähigkeit der Fahrgasse haben, sind nachfolgend zusammengestellt und gliedern sich nach geometrischen, betrieblichen sowie angebots- und nachfragespezifischen Aspekten.

Faktoren, welche die Dauer von Störereignissen bestimmen

Einflussfaktoren	
Geometrie	Fahrgassenbreite / Fahrgassenlänge Breite der Parkfelder Parkfeldanordnung: Parkfeldwinkel Vorhandensein von Stützen
Betrieb	Einrichtungs- / Gegenverkehr Nutzung der Fahrgasse als Ausfahrt anderer Fahrgassen Gegenwart von Fussgängern (quer / längs zur Fahrgasse) Knotenpunkte, Einmündung in Fahrweg
Angebot/Nachfrage	Anzahl Parkfelder entlang Fahrgasse Parkierungsmanöver; Rotationsziffer (Umschlagsziffer) Belegungsgrad

7.3.4 Theoretische Leistungsgrenzen

Gemäss den Studien des Road Research Laboratory ist die Leistungsfähigkeit einer Fahrgasse von drei Systemvariablen abhängig. Jede Variable für sich beschreibt eine mögliche Leistungsgrenze. Eine erste ist die Grundkapazität, bei welcher der Durchgangsverkehr massgebend ist. Eine zweite Leistungsgrenze kann erreicht werden, wenn in einer Fahrgasse nur einparkierende Fahrzeuge verkehren (vorausgesetzt es gibt genügend freie Parkfelder). Schliesslich kann eine dritte Leistungsgrenze durch ausschliesslich ausparkende Fahrzeuge erreicht werden.

In der Praxis kommen sowohl ein- als auch ausparkierende Fahrzeuge vor. Die Leistungsfähigkeit kann durch Kombination der beiden Variablen bestimmt werden und beschreibt eine neue Leistungsgrenze, welche die Umschlagskapazität wiedergibt. Durch Kombination aller drei Variablen kann ein Tetraeder beschrieben werden, dessen Aussenfläche die Leistungsgrenze darstellt. Einzelheiten zu diesen Überlegungen sowie die detaillierten Abbildungen können im Anhang A.4.1 nachgeschlagen werden.

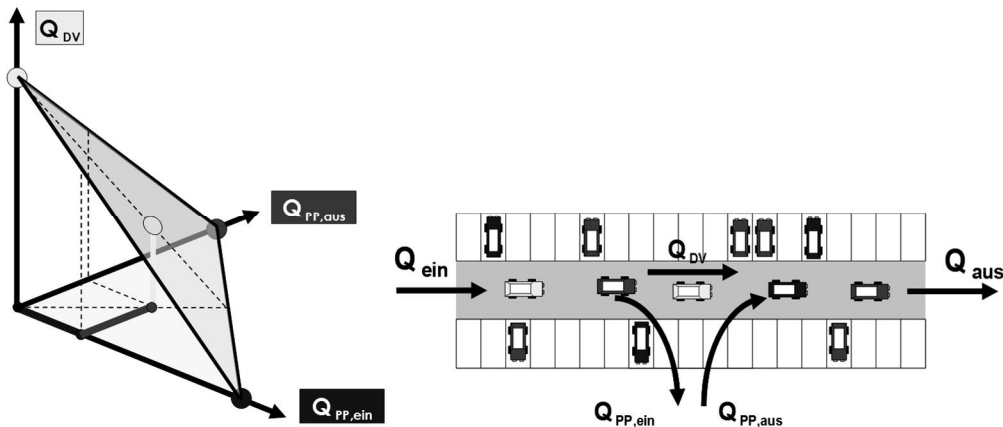


Abb. 7.65 Leistungsgrenzen der drei Systemvariablen

7.3.5 Störfaktoren

Störfaktoren für Fahrzeuge in der Fahrgasse	
Einparkieren	<p>Ist ein freies Parkfeld gefunden, so beginnt das eigentliche Einparkierungsmanöver. Der Vorgang bedarf eine bestimmte Zeit, während der die nachfolgenden Fahrzeuge – je nach Konstellation der Fahrgasse – in dieser behindert werden. Wie lange die einzelnen Behinderungen sind und welchen Einfluss diese schliesslich auf die Leistungsfähigkeit haben, war anhand von Erhebungen zu bestimmen.</p> <p>Wie bereits beschrieben, können verschiedene Faktoren einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von Fahrgassen haben. Beim Einparkungsprozess spielen unter anderem die Parkfeldbreite, der Parkwinkel sowie das Vorhandensein von Stützen eine Rolle.</p>
Verzögerungen durch wartende Fahrzeuge	<p>Sind keine oder nur wenige Parkfelder entlang einer Fahrgasse frei, so steigt die Anzahl wartender Fahrzeuge an. Häufig erkennen die Parkplatz suchenden Fahrzeuglenker ein potenzielles ausparkierendes Fahrzeug und warten an Ort und Stelle bis das anvisierte Parkfeld frei ist. Gerade bei Parkfeldern von Einkaufszentren kann es ziemlich lange dauern bis das vorangegangene Fahrzeug das Parkfeld verlässt. Die Gründe für solche Verzögerungen sind vielfältig: So kann es vorkommen, dass bereits ein Fahrzeug wartet, während ein Kunde noch seinen Einkauf ins Fahrzeug räumt. Andere wiederum verzögern ihre Ausfahrt, während der Partner noch das Parkticket löst oder den Einkaufswagen zurück bringt.</p> <p>Während der Zeitdauer bis das wartende Fahrzeug in die Parklücke einfahren kann, bleibt vielfach die Fahrgasse blockiert, was bei hoher Belastung schnell zu einer Kolonnenbildung in der Fahrgasse führt.</p> <p>Je nach Fahrgassenbreite besteht für Folgefahrzeuge eines wartenden Fahrzeugs die Möglichkeit an diesem vorbei zu fahren, wodurch die Kolonnenbildung geringer oder gar nicht auftritt. Für die Berechnung der Leistungsfähigkeit bedeuten diese Erkenntnisse, dass mit steigender Parkplatzbelegung Störfaktoren durch wartende Fahrzeuge zu berücksichtigen sind und die Grundkapazität schneller abnimmt.</p>
Ausparkieren	Die Abläufe beim Ausparkieren entsprechen bis auf die Abfolge jenen des Einparkierens.
Fussgänger in Fahrgasse	<p>Auch Fussgänger können den Verkehrsfluss in der Fahrgasse behindern und dadurch die Leistungsfähigkeit reduzieren. Dabei ist zwischen Fussgängern zu unterscheiden, welche die Fahrgasse queren oder entlang dieser marschieren. Das Entlanggehen ist vor allem bei Parkierungsanlagen von Einkaufszentren relevant, da dort Fussgänger auch mit Einkaufswagen in der Fahrgasse verkehren und dadurch die Wahrscheinlichkeit einer Behinderung des Fahrzeugstromes steigt.</p> <p>Fussgängerquerungen können die mögliche Durchflussrate einer Fahrgasse markant senken. Dies ist insbesondere bei Fahrgassen zu beobachten, welche stark belastete Fussgängerwege queren, wie etwa in der Nähe von grossen Gebäudeeingängen (v.a. bei Einkaufszentren).</p>

7.4 Empirische Untersuchungen in Fahrgassen

7.4.1 Bestimmung der Grundkapazität

Die Grundkapazität wird durch die mögliche Anzahl Fahrzeuge definiert, welche pro Zeiteinheit eine Fahrgasse ohne Parkierungsaktivität durchfahren können. An einem Querschnitt waren dazu die Zeitlücken zwischen den vorbeifahrenden Fahrzeugen zu erheben. Anhand der Zeitlückenverteilung konnten Einzelfahrzeuge und Folgefahrzeuge unterschieden und ausgewertet werden. Als Folgefahrzeuge gelten Fahrzeuge bei denen davon ausgegangen werden kann, dass die Geschwindigkeit des einen, jene des anderen beeinflusst. Die Grundkapazität ergab sich schliesslich aus der Berechnung der Folgezeitlücken.

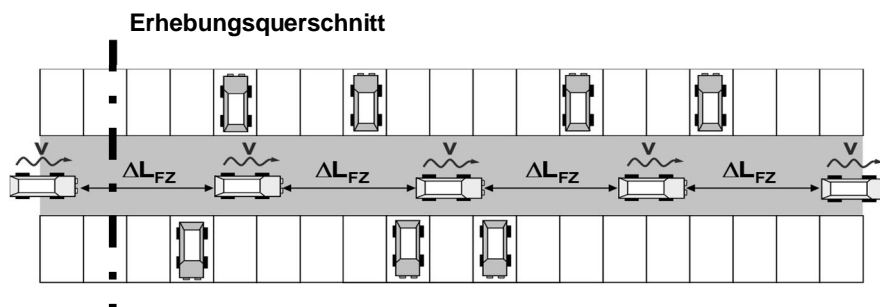


Abb. 7.66 Schema zur Bestimmung der Grundkapazität einer Fahrgasse im Einrichtungsverkehr

Die Erhebungen waren sowohl an einer Fahrgasse im Einrichtungsverkehr als auch einer Anlage im Gegenverkehr durchgeführt worden. Da die örtlichen Gegebenheiten kaum einen Einfluss auf das Fahrverhalten haben sollten, beschränkte man sich auf zwei Erhebungsstandorte (beide Kanton Bern).

Am Erhebungsquerschnitt wurden jeweils die Zeitpunkte der Fahrzeugdurchfahrten manuell erfasst. Dazu kamen elektronische PDA's zum Einsatz, welche den Erhebungsanforderungen entsprechend programmiert wurden. Zusätzlich wurden die Verkehrsabläufe mittels Videokamera aufgezeichnet, um im Rahmen der Auswertungen Eigenheiten und besondere Situationen erkennen zu können.

Resultate

Aus einer Fülle von erhobenen Zeitlücken und den Verkehrsbeobachtungen konnte jene Zeitlücke bestimmt werden, bis zu welcher die Fahrzeuge als Folgefahrzeuge bezeichnet werden können. Der Grenzwert liegt bei rund 6 Sekunden, bei welchem der Fahrer des nachfolgenden Fahrzeuges seine Fahrweise respektive seine Fahrgeschwindigkeit nach dem vorangegangenen Fahrzeug richtet.

Der Mittelwert aller **Zeitlücken** der Folgefahrzeuge (Erhebung OBI Baumarkt, Schönbühl: 125 Fahrzeuge / Stunde) betrug **4.4 Sekunden**, was eine theoretische Durchflusskapazität von rund **820 Fahrzeuge pro Stunde** ergibt. Nachfolgend ist die Zeitlückenverteilung aus der Erhebung OBI Baumarkt grafisch dargestellt.

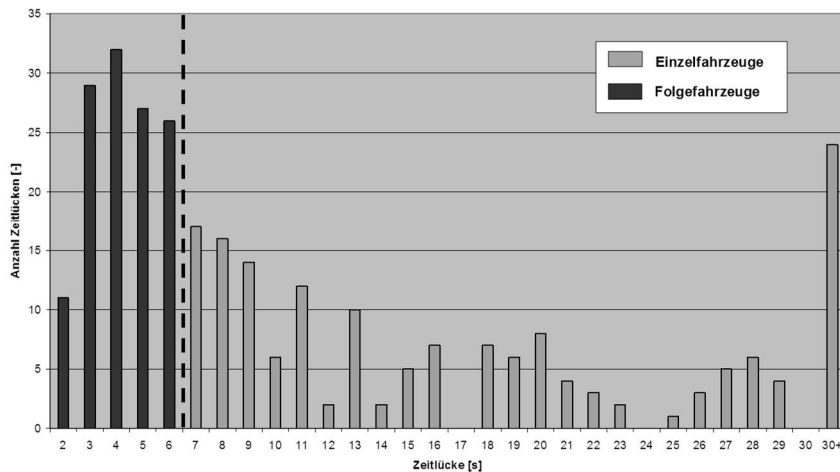


Abb. 7.67 Zeitlückenverteilung einer Fahrgasse im Einrichtungsverkehr (OBI Baumarkt, Schönbühl)

Einfluss Parkfeld-Suche

Anhand der Videoauswertungen konnte festgestellt werden, dass bei den gefahrenen Geschwindigkeiten in der Fahrgasse teilweise markante Unterschiede auszumachen waren. Fahrzeuglenker, welche Ausschau nach einem freien Parkfeld halten, nahmen aufgrund ihrer kurzzeitigen Ablenkung beim Blick zu den Stellplätzen generell einen grösseren Fahrzeugabstand zum vorderen Fahrzeug ein und verkehrten in der Regel auch langsamer als beispielsweise Fahrzeuglenker ausfahrender Fahrzeuge. Weiter haben Erhebungen gezeigt, dass bei geringerer Belastung in der Fahrgasse durchschnittlich schneller gefahren wurde.



Abb. 7.68 Foto - Beispiel einer Fahrzeugabfolge in einer Fahrgasse ohne Ein- / Ausparkierungsaktivität

Die Analyse zeigte, dass vor allem die erhobenen Zeitlücken von 2 resp. 3 Sekunden fast ausschliesslich von ausfahrenden Fahrzeugen stammten.

Geht man davon aus, dass jeweils die Fahrzeuge mit den geringsten Fahrgeschwindigkeiten den Verkehrsablauf des Fahrzeugpulk bestimmen, so sind die mittleren Zeitlücken der Parkplatzsuchenden zur Bestimmung der Grundkapazität zu berücksichtigen. Die mittlere Zeitlücke der Folgefahrzeuge betrug in diesem Fall 5.2 Sekunden, was eine Grundkapazität von rund 700 Fahrzeugen pro Stunde ergibt.

Die Grundkapazität einer Fahrgasse beträgt:

- im Einrichtungsverkehr: **700 Fahrzeuge pro Stunde**
- im Gegenverkehr: **500 Fahrzeuge pro Stunde**

7.4.2 Zeitbedarf für das Einparkieren

Der Störungseinfluss auf die Fahrgasse soll anhand einer mittleren Einparkierungszeit ermittelt werden. Dazu waren die einzelnen Parkierungsmanöver zu beobachten.

Eine Vielzahl von Faktoren können einen Einfluss auf die Dauer des Parkierungsvorganges und somit auf die Behinderungszeit der Fahrgasse haben. Im Rahmen der Erhebungen wurden folgende Fälle resp. Kombinationen davon getrennt durchgeführt:

- Parkfeldwinkel: 90° / 60° / 45°
- Stützen: mit / ohne Stützen
- Regime Fahrgasse: Einrichtungsverkehr / Gegenverkehr
- Fahrtrichtung: vorwärts / (rückwärts)

Untersucht wurden ausschliesslich Parkierungsanlagen mit Parkfeldanordnungen nach der Komfortstufe B (Öffentliche Parkhäuser, Einkaufszentren, Hotels ...)

III. Messverfahren

Die Einparkierungszeit wurde wie folgt erfasst: Die Zeitmessung begann als das einparkierende Fahrzeug in einer Distanz einer Parkfeldbreite vor diesem stand und endete sobald das Heck des Fahrzeuges auf dem Parkfeld war.

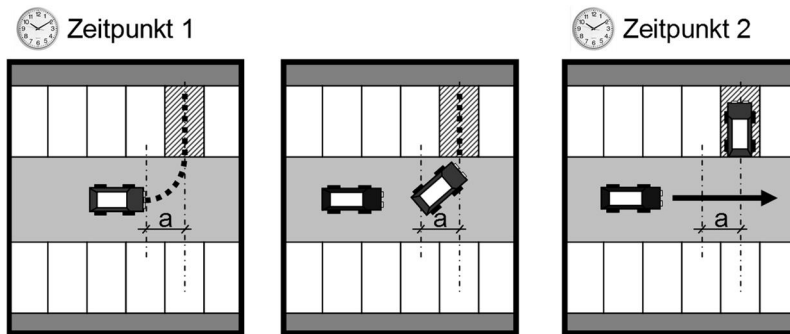


Abb. 7.69 Schemata der Erhebungsanordnung „Einparkieren“

Die beiden Zeitpunkte wurden wiederum mittels PDA's erfasst. Zudem wurde das Einparkierungsmanöver mittels Video aufgezeichnet und ausgewertet.

Resultate

Die Daten aus den Erhebungen können im Anhang A.4.2 nachgeschlagen werden.

Parkfeldwinkel: 90°, mit / ohne Stützen, Einrichtungsverkehr:

- | | | | |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|------------------|
| • Vorwärts Einparkieren: | 42 Fahrzeuge | Mittlere Einfahrtszeit: | 9.2 Sek. |
| • Rückwärts Einparkieren: | 2 Fahrzeuge | Mittlere Einfahrtszeit: | 13.4 Sek. |

Der Zeitbedarf für das Einparkieren variierte sehr stark: Einerseits konnten Fahrzeuge beobachtet werden, welche durch direktes Einlenken in die Parklücke lediglich 4 Sekunden brauchten. Andererseits waren jene zu verzeichnen, welche beim Einparkieren ihr Fahrzeug zur Korrektur der Ausrichtung nochmals zurücksetzten und dadurch Einfahrtszeiten von über 12 Sekunden benötigten.

Der Einfluss der Stützen war nicht signifikant. Die Einfahrtszeiten streuten sehr stark und ergaben sich im Wesentlichen durch die Fahrkünste der einzelnen Fahrzeuglenker. Obschon bei Parkfeldern mit angrenzenden Stützen häufiger ein Korrigieren der Fahrzeugposition beobachtet werden konnte, liess sich der Einfluss vom Vorhandensein von Stützen nicht quantifizieren.

Weiter konnte festgestellt werden, dass bei senkrechten Parkfeldern bis auf wenige Ausnahmen vorwärts eingeparkt wird. Die Einfahrtszeit fürs rückwärts Einparkieren liegt aufgrund des Bewegungsablaufes Vorfahren – Halten – Schalten – Rückwärtsfahren deutlich über jener fürs vorwärts Parkieren.

Parkfeldwinkel: 60°, ohne Stützen, Einrichtungsverkehr:

- | | | | |
|------------------------------------|--------------|-------------------------|-----------------|
| • - Vorwärts Einparkieren: | 48 Fahrzeuge | Mittlere Einfahrtszeit: | 5.2 Sek. |
| • - Rückwärts Einparkieren: | 11 Fahrzeuge | Mittlere Einfahrtszeit: | 9.3 Sek. |

Bei Parkfeldern mit 60° Ablenkwinkel streuten die Werte der Einfahrtszeiten weniger stark und lagen im Mittel bei 5.2 Sekunden. Die geringere Abweichung war vor allem darauf zurückzuführen, dass bei schräg angeordneten Parkfeldern ein Korrigieren respektive Zurücksetzen des Fahrzeuges bis auf wenige Ausnahmen nicht vorkam.

Aufgrund der speziellen Anordnung der Fahrgassen und dem hohen Belegungsgrad konnten bei der beobachteten Fahrgasse vermehrt auch rückwärts parkierende Fahrzeuge (Einfahrt aus der benachbarten Fahrgasse rückwärts in das zur Fahrtrichtung negativ abgewinkelte Parkfeld) erfasst werden. Generell dürften bei schräg angeordneten Parkfeldern das Rückwärtsparkieren eine untergeordnete Rolle spielen. Wiederum führte das Schalten und Zurücksetzen zu durchschnittlich längeren Einfahrtszeiten.

Parkfeldwinkel: 45°, mit / ohne Stützen, Einrichtungsverkehr:

- **Vorwärts Einparkieren:** 31 Fahrzeuge Mittlere Einfahrtszeit: **5.1 Sek.**
- **Rückwärts Einparkieren:** 0 Fahrzeuge Mittlere Einfahrtszeit: **--- Sek.**

Die mittlere Einfahrtszeit lag bei 5.1 Sekunden und damit in etwa bei jener von Parkfeldern mit Ablenkungswinkel von 60°. Wiederum waren die Fahrkünste des Fahrers massgebend für die Einfahrtszeit. Gesamthaft gesehen streuten die Werte kaum. Rückwärts parkierende Fahrzeuge konnten hingegen nicht registriert werden.

7.4.3 Zeitbedarf für das Ausparkieren

In umgekehrter Abfolge zum Einparkieren wurden folgende Zeiten erfasst:

Zeitpunkt 1: Fahrzeug ragt mit Heck in Fahrgasse

Zeitpunkt 2: Fahrzeug setzt sich vorwärts in Fahrgasse fort

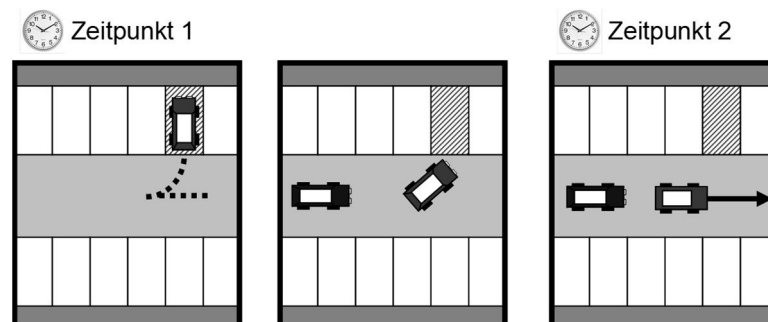


Abb. 7.70 Schemata der Erhebungsanordnung „Ausparkieren“



Abb. 7.71 Fotoreihe - Beobachtungsbeispiel eines Ausparkierungsvorgangs

Resultate

Wie Erhebungen gezeigt haben, bedarf es beim Ausparkieren über deutlich längere Zeiten als beim Einparkieren. Der Grund hierfür ist einerseits bei der vorsichtigeren Fahrweise beim Rückwärtsfahren in die Fahrgasse und andererseits beim Wechsel (u.a. Gangschaltung) von rückwärts zum vorwärts Fahren zu suchen. Wiederum konnten keine eindeutigen zeitlichen Unterschiede aufgrund der Parkplatzanordnung und -geometrie festgestellt werden. Die durchschnittliche Manövrierzeit, die für das Ausparkieren eines Fahrzeuges gebraucht wird, liegt gerundet bei 11 Sekunden.



Abb. 7.72: Ein ausparkierendes Fahrzeug behindert andere Fahrzeuge in der Fahrgasse

Parkfeldwinkel: 90°, mit / ohne Stützen, Einrichtungsverkehr:

- **Rückwärts Ausparkieren:** 37 Fahrzeuge Mittlere Ausfahrtszeit: **10.8 Sek.**
- **Vorwärts Ausparkieren:** 0 Fahrzeuge Mittlere Ausfahrtszeit: **- Sek.**

7.4.4 Zeitverluste infolge wartender Fahrzeuge

Immer wieder kommt es bei stark ausgelasteten Parkierungsanlagen vor, dass Fahrzeuge in der Fahrgasse stehen bleiben und auf ein ausparkierendes Fahrzeug warten, während dem ein drittes Fahrzeug dazu kommt. Selten überholt das dritte Fahrzeug die vorderen Fahrzeuge. In der Regel reiht es sich hinter dem zweiten Fahrzeug ein und muss ebenfalls warten.

Die Versuchsanordnung kann nicht geplant werden, da das Auftreten nicht im Vorhinein bestimmt werden kann. Somit dürfte auch die Anzahl der Beobachtungen gering bis sehr gering ausfallen. Zudem ist eine grosse Streuung der Werte zu erwarten, da die Wartezeit der Folgefahrzeuge hauptsächlich von der Tätigkeit des ausfahrenden Fahrzeuglenkers abhängig ist. Anhand von Videoaufzeichnungen waren die in der Abbildung 7 - 15 dargestellten Abläufe im Auftretensfall zu studieren.

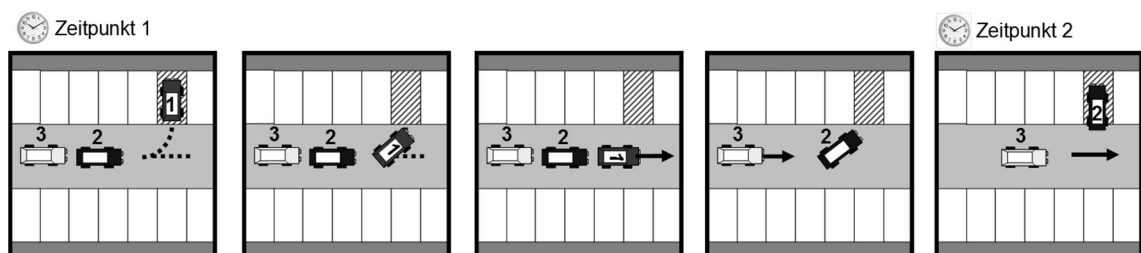


Abb. 7.73 Schemata der Erhebungsanordnung „Wartende Fahrzeuge“

Wartezeit von Folgefahrzeugen in der Fahrgasse:

- **Fahrzeug 3:** 4 Fahrzeuge Mittlere Wartezeit: **15.2 Sekunden**

7.4.5 Zeitverluste infolge Fussgäμβewegungen quer zur Fahrgasse

Ein weiterer Unterbrechungsfaktor des Verkehrsflusses in der Fahrgasse ist die Anwesenheit von Fussgämbern, insbesondere jene, welche die Fahrgasse queren. Die Fussgämbquerungen wurden mittels Videoauswertung untersucht.

Erhoben wurden die beiden Zeitpunkte, zu welchen das Fahrzeug infolge einer Fussgämbquerung steht resp. sich wieder in Bewegung setzt. Die Differenz ergibt die Wartezeit vor dem Fussgämbquerungsraum. In dieser Zeit noch nicht beruicksichtigt sind Brems- und Beschleunigungszeiten.

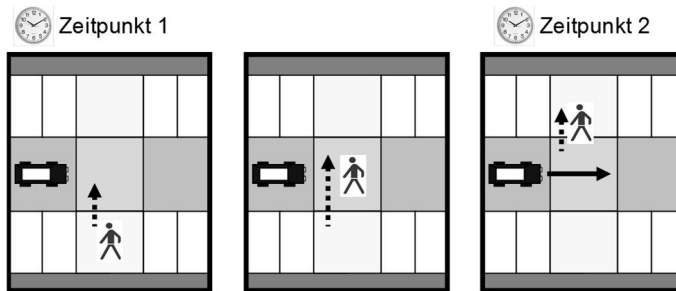


Abb. 7.74: Schemata der Erhebungsanordnung „Querende Fussgämb“

Wartezeiten infolge Fussgämbquerungen:

- **Fahrt in Fahrgasse** 12 Fahrzeuge Mittlere Wartezeit: **7.4 Sekunden**

7.5 Leistungsfähigkeit von Fahrgassen

Nachdem die möglichen Störfaktoren bekannt sind, gilt es diese zu quantifizieren, um daraus die Leistungseinbusse abzuleiten. Diese lässt sich wie folgt berechnen:

$$\text{Leistungseinbusse} = \frac{\text{Häufigkeit Störeneignis pro Zeiteinheit} * \text{Dauer Störeneignis}}{\text{Folgezeiten } Fz - Fz}$$

Häufigkeit eines Störeneignisses pro Zeiteinheit: $Mv [Fz/h]$

Die Häufigkeit eines Störeneignisses pro Zeiteinheit ergibt sich durch deren Auftretenswahrscheinlichkeit. Bezüglich Ein- und Ausparkierungsmanöber ist die Auftretenswahrscheinlichkeit durch die Nachfragekurve (Einfahrten pro Zeiteinheit) sowie die Umschlagshäufigkeit (Rotationsziffer) gegeben. Die Auftretenswahrscheinlichkeit von wartenden Fahrzeugen ergibt sich durch den Belegungsgrad der Parkfelder entlang der Fahrgasse.

Dauer des Störeneignisses: $tv [s]$

Die Dauer der möglichen Störeneignisse kann stark variieren. Für die weiteren Berechnungen ist von folgenden Werten ausgegangen worden:

- Dauer für das Einparkieren eines Fahrzeuges: $tv_{PP, \text{ein}} = 6s$
- Dauer für das Ausparkieren eines Fahrzeuges: $tv_{PP, \text{aus}} = 11s$
- Verzögerung durch Anhalten und Anfahren: $tv_{AA} = 5s$ (inkl. Reaktionszeit)
- Verzögerung durch wartende Fahrzeuge: $tv_{Fz, w} = 15s$
- Verzögerungen durch querende Fussgämb: $tv_{Fz, F} = 7s$

Folgezeiten: $\Delta t_{Fz, Fz} [s] = 5.2 \text{ Sekunden}$

Szenarien:

	Einparkieren [s]	Ausparkieren [s]	Wartezeit (20%) [s]	Verlustzeit [s]	Grundkapazität [Fz/h]	Zeitverlust FG (10%) [s]	LF Durchgangsverkehr [Fz/h]
Anzahl EIN/AUS	6	11	15		700	7	
0	0	0	0	0	700	0	700
20	120	220	60	400	623	14	620
40	240	440	120	800	545	28	539
60	360	660	180	1200	467	42	459
80	480	880	240	1600	389	56	378
100	600	1100	300	2000	311	70	298
120	720	1320	360	2400	233	84	217
140	840	1540	420	2800	156	98	137
160	960	1760	480	3200	78	112	56
180	1080	1980	540	3600	0	126	-25
200	1200	2200	600	4000	-78	140	-105

Abb. 7.75 Berechnungstabelle der Leistungsfähigkeit von Fahrgassen im Einrichtungsverkehr (Ein- / Ausparkieren, Durchgangsverkehr)

Die oben stehende Tabelle zeigt folgendes auf: Aus der Anzahl Ein- und Ausparkierungsvorgängen sowie einem Anteil an Wartezeiten kann die Verlustzeit des Hauptstromes berechnet werden. Die Grundkapazität für Fahrgassen mit Einrichtungsverkehr beträgt ungefähr 700 Fahrzeuge pro Stunde, welche mit den Ein- und Ausparkierungsaktivitäten abnimmt. In der Spalte Grundkapazität ist die jeweilige Fahrzeugmenge aufgeführt, welche ohne Parkierungsmanöver die Fahrgasse durchfahren kann (sogenannter Durchgangsverkehr). Werden noch Verlustzeiten durch querende Fußgänger mit ein berechnet, so reduziert sich die Leistungsfähigkeit der Durchfahrt noch weiter.

Bei 180 Ein- und Ausfahrten ergibt sich aus der Tabelle eine Verlustzeit von 3600 Sekunden. Das bedeutet, dass in diesem Fall keine Kapazität für den Durchgangsverkehr in der Fahrgasse zur Verfügung steht und die Leistungsfähigkeit sich zu 360 Fahrzeugen pro Stunde (180 Einparkierungen / 180 Ausparkierungen) ergibt.

Finden nur Ausparkierungsvorgänge statt, so reduziert sich die Leistungsfähigkeit in der Fahrgasse auf 330 Fahrzeuge pro Stunde.

7.6 Diskussion der Ergebnisse / Normvorschlag

Die theoretischen Überlegungen wie auch die Beobachtungen zeigten, dass die Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Fahrgassen keine einfache Aufgabe darstellt. Die Schwierigkeit stellt sich unter anderem durch die Einbindung der Verkehrsnachfrage sowie der Zusammensetzung der Fahrtmotive. Je ausgelasteter die Fahrgasse mit Fahrzeugen ist, welche ein- oder ausparkieren, desto geringere Kapazitäten bestehen für den Durchgangsverkehr. Ohne Kenntnis der Zusammensetzung der Fahrtmotive (ein-/ ausparkieren, durchfahren) kann die Leistungsfähigkeit der Fahrgasse nicht eindeutig bestimmt werden. Geht man von einer gleichen Anzahl ein- und ausparkierender Fahrzeuge aus, so ergibt sich in Fahrgassen eine maximale Leistungsfähigkeit von 360 Fahrzeugen pro Stunde. Finden keine Parkierungsmanöver statt, so kann die Fahrgasse mit Einrichtungsverkehr ungefähr 700 Fahrzeuge pro Stunde aufnehmen.

Vergleich der Erhebungswerte mit der Normgebung		
Leistungsfähigkeit (je Fahrstreifen):		
SN 640 293 Parkieren - Betrieb (bisher):		
Fahrgassen:		
im Zweirichtungsverkehr	100...150	[Fz/h]
im Einrichtungsverkehr	300...400	[Fz/h]
EAR 05:		
Zu Fahrgassen werden keine Leistungswerte angegeben.		
RRL 221:		
C _{in} (max.)	330	[Fz/h]
C _{out} (max.)	396	[Fz/h]
Erhebungsreihe (Hochrechnung)		
im Zweirichtungsverkehr	170...210	[Fz/h]
im Einrichtungsverkehr	360	[Fz/h]
Normvorschlag:		
Fahrgassen:		
im Zweirichtungsverkehr	150...200	[Fz/h]
im Einrichtungsverkehr	300...400	[Fz/h]

Tab. 7.76 Fahrgassen – Vergleich von Norm- und Erhebungswerten

8 Stauraum vor Ein-/Ausfahrten

8.1 Einleitung

Die Dimensionierung der Stauräume vor Ein-/Ausfahrten stellt eine zentrale Aufgabe im Planungsprozess von bewirtschafteten Parkierungsanlagen dar. Welche Länge die Aufstellbereiche aufweisen sollen, ist sowohl von der Abfertigungsleistung (Angebotsselement) wie auch von der Zufahrtsintensität (Nachfrageelement), definiert als die Zufahrtsbelastung je Zeiteinheit, abhängig. Zur Bemessung der Stauräume bedarf es an Wissen über die Gerätekapazitäten an den Abfertigungsanlagen sowie an Kenntnis über die dynamischen Einflussgrößen der massgebenden Zuströme. Die massgebende Belastung ist im Planungszeitpunkt häufig nicht ausreichend bekannt, so dass von Annahmen ausgegangen werden muss. Dies wiederum kann dazu führen, dass Stauräume vor Ein-/Ausfahrten zu grosszügig dimensioniert werden, was mit entsprechenden höheren Investitionskosten verbunden ist oder im Fall zu geringer Dimensionierung zu Rückstauproblemen führt.

Das vorliegende Kapitel Stauraum vor Ein-/Ausfahrten zeigt unter anderem auf, welche Faktoren zur Stauraumberechnung zu berücksichtigen sind. Es werden Angaben zur Stauraumbemessung gemacht wie auch die Sensitivitäten der massgebenden Grössen diskutiert.

Als Ziel soll eine Bemessungstafel zur Bestimmung des erforderlichen Stauraums bei gegebener mittleren Abfertigungsleistung und mittleren Zufahrtsbelastung vorliegen.

8.2 Ausgangslage

8.2.1 Stand der Forschung

EAR 05 / Forschungsprogramm Stadtverkehr

Die im Rahmen der Überarbeitung der deutschen Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR 05) geführten Forschungsarbeit wurden Verkehrsabläufe an Abfertigungsanlagen näher untersucht und geben interessante Quervergleiche zur vorliegenden Arbeit.

Die berechneten und simulierten maximalen Rückstaulängen, wie sie in der Forschungsarbeit Stadtverkehr FE 77.421 [2] ausgewiesen sind, konnten bestätigt werden. Hinsichtlich der Überstauungssicherheit wurden jedoch markante Unterschiede festgestellt, die nach genauerem Studium auf die Auslegung der Begrifflichkeit zurückzuführen waren. So wird in der EAR 05 [1] und in der Forschungsarbeit Stadtverkehr [2] der Begriff der Überstauungssicherheit unterschiedlich ausgelegt:

Überstauungssicherheit 95% nach EAR 05 [1]

*„Wenn Anlagen des ruhenden Verkehrs an Hauptverkehrsstrassen liegen, sollte der Stauraum so bemessen werden, dass er den aus der **massgebenden Belastung** (Bemessungsverkehrsstärke) resultierenden Anforderungen mit einer **95%igen Sicherheit gegen Überstauung** genügt.“ (S.60)*

Überstauungssicherheit in .. % gemäss Forschungsprogramm Stadtverkehr [2]

*„Dadurch wird sichergestellt, dass in jeweils 50%, 85% oder 95% **aller Bemessungsstunden** der dimensionierte Stauraum für den Verkehrsablauf an Ein- und Ausfahrten ausreicht.“ (S.47)*

8.2.2 SN 640 293 Parkieren – Betrieb (bisher)

Erforderliche Stauraumlänge

Die bisherige Schweizer Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb beinhaltet mit der Abbildung 2 ein Bemessungsdiagramm, welches die drei Kenngrössen wie die **mittlere Zufahrtsbelastung** (1), die **mittlere Abfertigungsleistung** (2) sowie die **erforderliche Stauraumlänge** (3) berücksichtigt. Anhand von zwei Inputwerten kann der gesuchte dritte Bemessungswert aus dem Diagramm abgelesen werden. So lässt sich beispielsweise der erforderliche Stauraum (3) mittels den Inputgrössen der mittleren Zufahrtsbelastung (1) und der mittleren Abfertigungsleistung (2) bestimmen. Die im Diagramm ausgewiesenen Angaben zu den erforderlichen Stauraumlängen berücksichtigen eine Überstauungssicherheit von 90% (resp. 80% im Grenzbereich der Kapazitätsgrenze mit Stauraumlängen von über 60 Meter Länge). Dadurch wird sichergestellt, dass der dimensionierte Stauraum mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% ausreicht.

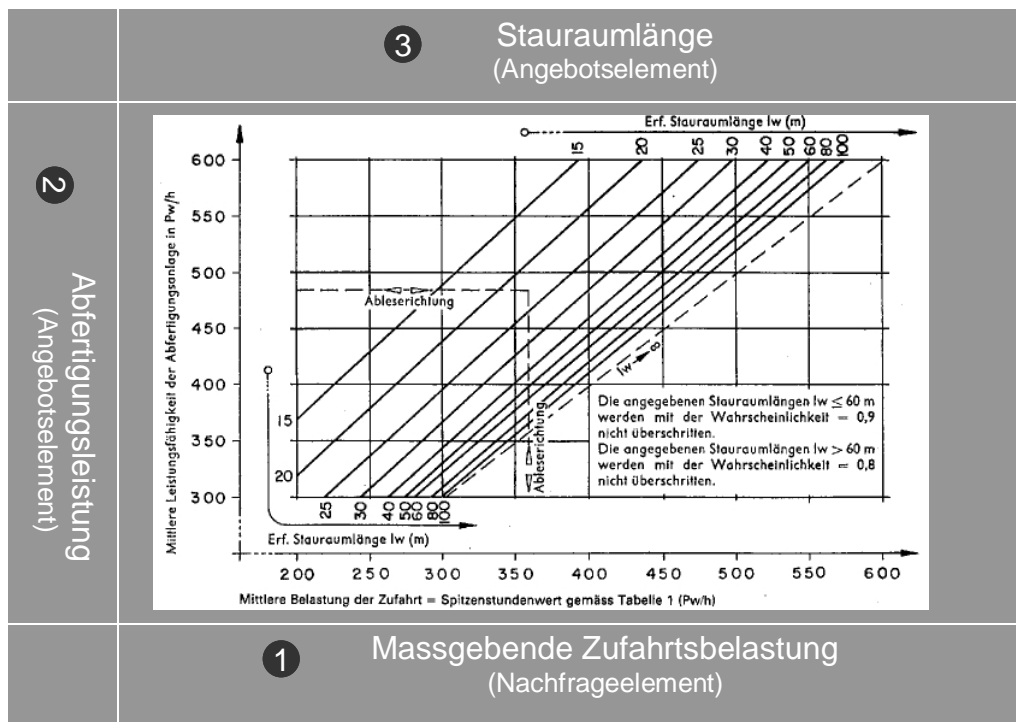


Abb. 8.77 Stauraumbemessung nach SN 640293 (Abb. 2)

Überstauungssicherheit

Generell sind zur Dimensionierung von Stauräumen die maximalen Staulängen von Interesse. Die maximale Staulänge lässt sich nicht ohne weiteres angeben, da sie streng genommen gleich unendlich ist. Angeben lässt sich derweil eine Staulänge, die mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird.

Die Überstauungssicherheit gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit der dimensionierte Stauraum für den Verkehrsablauf an Ein- und Ausfahrten ausreicht.

Die bisherige Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb drückt sich indessen nur unzureichend darüber aus, zu welcher Bezugsgrösse die Überstauungssicherheit des Stauraumes zu verstehen ist. So gibt es in der Fachliteratur Auslegungen, dass bei einer Überstauungssicherheit von 90% die Rückstaulänge während 90% **der Zeit** kürzer oder gleich den angegebenen Werten zu verstehen ist. Dies bedeutet, dass bei diesem Beispiel während 6 Minuten in der Bemessungsstunde eine Überstauung auftreten kann. Andere Ansätze wie beispielsweise jene bei den Berechnungen zur EAR05 bezogen sich auf mehrere **Bemessungsstunden**⁶, anhand welcher die maximalen Staulängen bestimmt wurden. Die Überstauungssicherheit von 90% gibt an, dass in

⁶ EAR 05: 200 Bemessungsstunden

90% aller Bemessungsstunden der dimensionierte Stauraum ausreicht.

Die Beispiele verdeutlichen, dass die Angaben zur Überstauungssicherheit sehr unterschiedlich interpretiert werden können. Aus dem zweiten Ansatz resultieren im Vergleich zum Ersten deutlich längere Stauräume. Dies könnte mit ein Grund sein, dass unter gleichen Bedingungen aus der EAR 05 deutlich längere Stauräume vorzuhalten sind als aus der Berechnung nach Schweizer Norm, aber auch der EAR91.

Fazit: Zur Angabe der Überstauungssicherheit ist jeweils die interpretierte Bezugsgrösse wie auch die Berechnungsgrundlagen unbedingt mit anzugeben.

Weiter geht aus der Norm nicht hervor, welche Schwankungen der beiden Inputgrössen zur Berechnung der Rückstaulängen berücksichtigt wurden. So variiert sowohl die Zufahrtsintensität wie auch die Abfertigungszeiten jedes einzelnen Fahrzeuges über die Bemessungsstunde, was zu sehr unterschiedlichen Ausprägungen im Stauraum führen kann.

Betrachtungsausschnitt und Skalierung des Stauraum- Diagramms

Das Bemessungsdiagramm zur Dimensionierung der erforderlichen Stauräume aus der bisherigen Norm (SN 640 293, Abb. 2) zeigt einen Betrachtungsausschnitt von 200 bis 600 Fahrzeugen pro Stunde für die mittlere Belastung der Zufahrt wie eine mittlere Abfertigungsleistung zwischen 300 und 600 Fahrzeugen pro Stunde.

Wie die aktuellen Berechnungen zu den Abfertigungsleistungen gezeigt haben, bewegt sich das Betrachtungsfeld, welches je nach Kontrollmedium zur Bemessung der Stauräume von Interesse ist, im Bereich von Abfertigungsleistungen zwischen 150 und 400 Fahrzeugen pro Stunde. Für das neue Bemessungsdiagramm bedeutet dies, dass der Betrachtungsausschnitt im Vergleich zum heutigen Diagramm nach unten links zu tieferen Werten ausgelegt werden muss. Ebenso ist das Blickfeld der massgebenden Zufahrtsbelastungen gegen tiefere Werte zu verschieben.

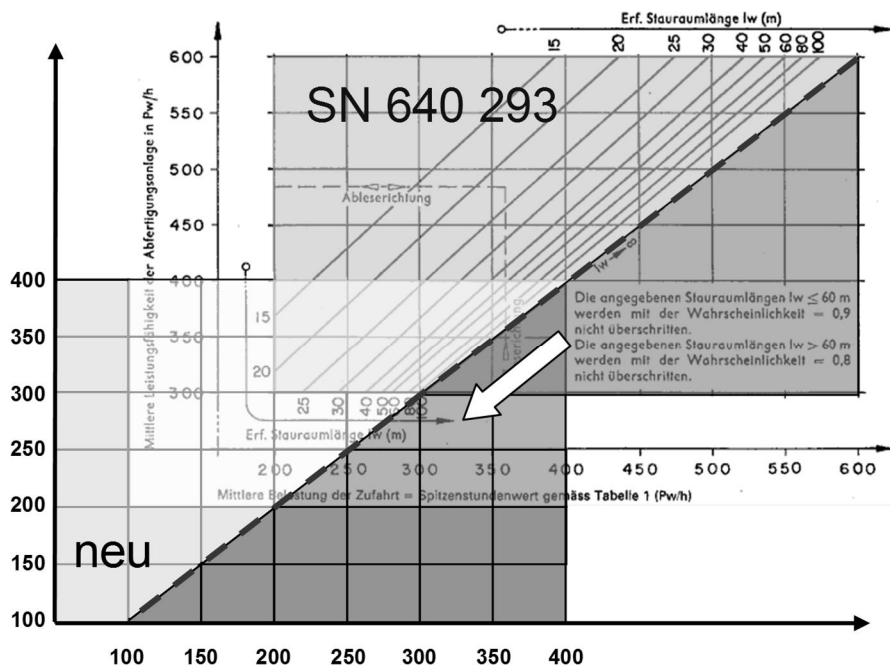


Abb. 8.78 Neuer Betrachtungsausschnitt des Stauraum-Diagrammes

8.3 Massgebende Kenngrössen

8.3.1 Einleitung

Die Ein- / Ausfahrt einer bewirtschafteten mit Kontrolleinrichtungen ausgerüsteten Parkierungsanlage setzt sich aus einer Zufahrtsstrasse wie einer Abfertigungsanlage zusammen. Der Streckenabschnitt zwischen dem übergeordneten Strassennetz und den Parkhaus internen Fahrwegen wird als Zufahrtsstrasse bezeichnet. Auf dieser können sich im Bereich vor der Abfertigungsanlage (Kontrolleinrichtung) Fahrzeuge ansammeln, wofür ein ausreichender Stauraum anzubieten ist. Die Staulängen vor Abfertigungsanlagen dienen somit als Bemessungsgrösse für die bauliche Gestaltung der notwendigen Stauräume an und vor Abfertigungsanlagen.

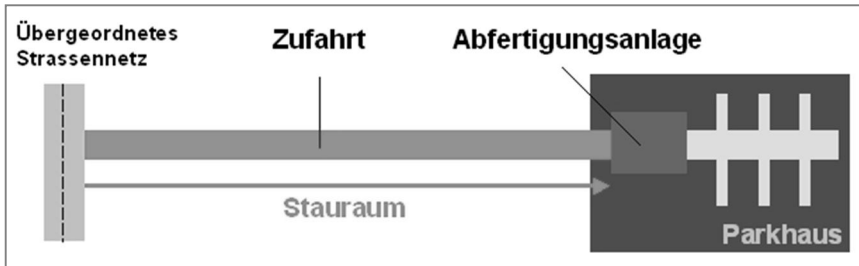


Abb. 8.79 System einer Parking- Einfahrt mit Zufahrtsstrasse und Abfertigungsanlage

Wie in der bisherigen Schweizer Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb aufgeführt, lässt sich die erforderliche Stauraumlänge aus der **mittleren Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage** (Angebotelement) sowie aus der **mittleren Belastung der Zufahrt** (Nachfrageelement) bestimmen. Grob vereinfacht kann das System mit der Warteschlangentheorie, mit Zufluss- und Bedienrate, beschrieben werden.

8.3.2 Zufahrtsverteilung

Aus der Literatur sind zahlreiche Untersuchungen über die Ankunftsverteilungen bekannt. In vielen Fällen wurde die Zufallsverteilung nach Poisson als gültige Ankunftsverteilung nachgewiesen. Die Poisson Verteilung ist eine diskrete Verteilung. Das Verhältnis von Streuung zu Mittelwert zeigt die Schwankungen im Zufahrtsstrom auf und kann zur Charakterisierung des Verkehrsflusses benutzt werden. In einem völlig gleichmässigen Zufahrtsstrom ist die Schwankungsgrösse $j=0$. Ein zufälliger Zustrom liegt vor, wenn die Schwankungsgrösse $j=1$ beträgt, während bei grösseren Werten $j = 1.5$ bis 2.5 starke Schwankungen und ein überzufälliger Zufluss vorliegt, was eher städtische Verhältnisse mit häufigen Unterbrüchen des Verkehrsflusses an Knoten wider gibt.

Zeitlücken

Der Zufahrtsstrom lässt sich sowohl durch räumliche wie auch zeitliche Verteilung der Fahrzeugabstände beschreiben. In der Verkehrstechnik wird vorwiegend die Zeitlückenverteilung angewendet. Als Grundlage der Stauraumberechnung wurden die Zeitlückenverteilungen nach dem Vorgehen von Schnabel/Lohse angewendet (vgl. Prinzip Kap. 5.3).

Zeitlückenverteilung nach Schnabel/Lohse

Die Zeitlückenverteilung des zufälligen Zustroms erfolgte nach dem Vorgehen von SCHNABEL/LOHSE, einem mathematischen Verfahren unter Berücksichtigung einer Mindestzeitlücke und einer mittleren Zeitlücke.

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t \leq t_c \\ \frac{1}{\bar{t} - t_c} e^{-(t - t_c) / (\bar{t} - t_c)} & \text{für } t > t_c \end{cases}$$

Beispiel: Zufahrtsbelastung $Q = 200 \text{ Fz/h}$

Zeitlückenverteilung im Zufahrtsstrom

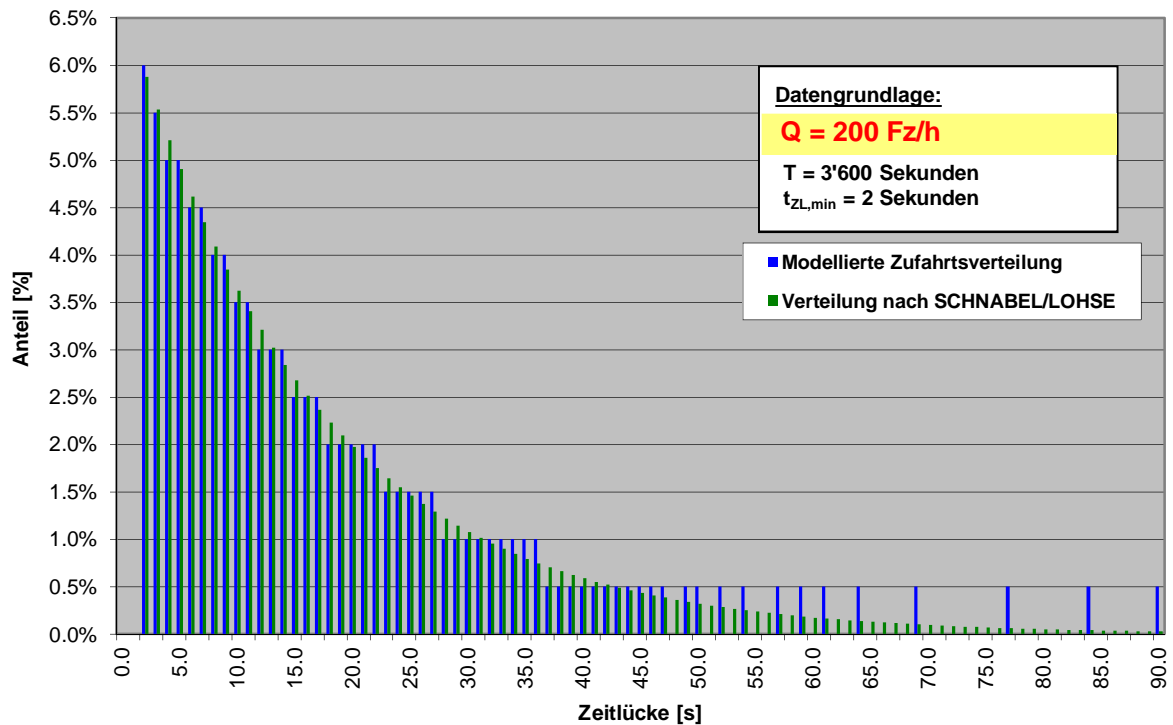


Abb. 8.80 Zeitlückenverteilung nach Schnabel/Lohse sowie modellierte Zufahrtsverteilung

In der Simulation werden ganze Fahrzeugeinheiten berücksichtigt, so dass die Zeitlückenverteilung nicht genau jener von Schnabel/Lohse entspricht, was in der Abbildung zum Ausdruck kommt. Die Summe aller Zeitlücken ergibt die Länge der Zeitperiode, im vorliegenden Fall 3'600 Sekunden (Bemessungsstunde).

Je geringer die Zufahrtsbelastung ist, desto flacher verläuft die Verteilkurve. Der Anteil der Zeitlücken, die gleich oder grösser als die mittlere Zeitlücke t sind, beträgt bei der ungestörten Zeitlückensummenlinie $1/e = 0.3679$. Das bedeutet, dass der Anteil der Zeitlücken, die kleiner als die mittlere Zeitlücke sind, grösser ist als jener Anteil grosser Zeitlücken. Die Verteilungskurven je Zufahrtsbelastungen können im Anhang nachgeschlagen werden.

Verteilung der Zeitlücken innerhalb der Zeitperiode

Mit der oben aufgeführten Formel, lässt sich der Anteil jeder Zeitlückengrösse bestimmen. Wie sich die Zeitlücken innerhalb einer bestimmten Zeitperiode verteilen, ist indessen noch unbekannt. Für die Simulation der Abläufe vor Abfertigungsanlagen sollen die Zeitlücken für eine Bemessungsstunde variiert werden.

Hierzu wurde wie folgt vorgegangen: Die ermittelten Zeitlücken sind zufällig in Ankunftsreihen zusammengesetzt worden. Für die weiteren Berechnungen wurden je Zufahrtsbelastung 20 Zufahrtsverteilungen bestimmt.

Q= 200 [Fz/h]	VT 1	VT 2	VT 3	VT 4	VT 5	VT 6	VT 7	VT 8	VT 9	VT 10
1	84	4	15	3	13	5	4	8	22	61
2	23	61	23	31	50	25	4	17	13	23
3	7	4	13	39	2	18	11	4	10	4
4	13	7	21	2	11	2	5	5	2	24
5	14	50	18	30	3	6	4	26	18	17
6	3	11	30	8	8	54	12	9	13	3
7	14	36	4	42	8	3	3	59	4	11
8	4	10	27	41	24	13	9	5	17	3
9	44	15	33	3	3	5	90	18	15	10
.
.
.
195	21	4	19	18	4	2	18	13	9	84
196	12	15	9	9	6	24	4	7	29	32
197	8	54	2	8	21	8	21	8	6	17
198	3	2	2	6	9	18	10	14	2	10
199	7	14	31	23	7	16	14	16	12	59
200	57	22	14	11	22	15	49	7	40	34
	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600

Abb. 8.81 10 Zeitlücken - Verteilungen (VT)

Start- / Endzeitlücken

Um zu vermeiden, dass jeweils das letzte Fahrzeug zur 3600-ten Sekunde der Bemessungsstunde einfährt, wurde für die Simulation eine zufällige Start- und Endzeitlücke eingeführt. Die Startzeitlücke weist einen Teilwert der Zeitlücke von Fahrzeug 1 auf. Die Differenz zu dieser Zeitlücke ist sodann die Endzeitlücke.

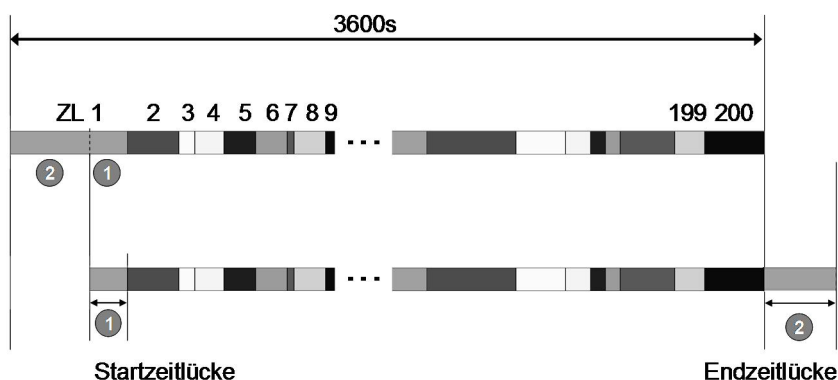


Abb. 8.82 Berücksichtigung von Start- und Endzeitlücken zur Variation des Simulationsbeginns

Stundenganglinien

Aus dem zufälligen Zusammenfügen der Zeitlücken ergeben sich verschiedene Zufluss Verteilungen. Nachfolgend ist die Stundenganglinie der Zufahrtsverteilung 1 bei einer Zufahrtsbelastung $Q_{zu}=200$ Fz/h dargestellt. Die nachfolgend aufgeführte Verteilung zeigt über die Bemessungsstunde gesehen konstante Zufahrtsintensitäten auf. Die Abbildung 8.82 zur Stundenganglinie der Verteilung 2 weist hingegen zwei stärker ausgeprägte Zufahrtsintensitäten gefolgt von einer schwächeren Zustromphase dar. Insgesamt waren zur Bestimmung der erforderlichen Rückstaulängen pro mittleren Zufahrtsbelastung 20 Verteilungen unterschiedlicher Charakteren simuliert worden.

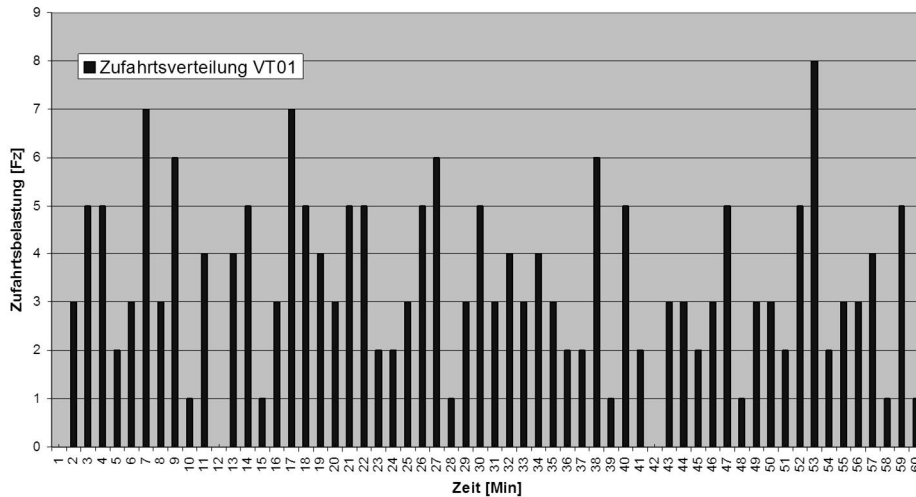


Abb. 8.83 Stundenganglinie der Verteilung 1 bei einer Zufahrtsbelastung $Q_{zu}=200$ Fz/h

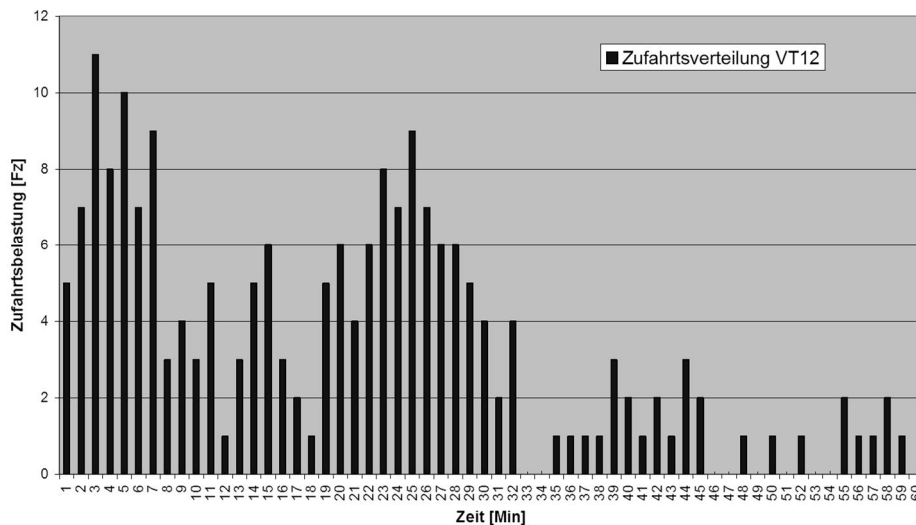


Abb. 8.84 Stundenganglinie der Verteilung 12 bei einer Zufahrtsbelastung $Q_{zu}=200$ Fz/h

8.3.3 Verteilung der Abfertigungszeiten

Die Bedienrate μ ergibt sich aus den Abfertigungszeiten am Kontrollgerät. Die Abfertigungszeiten der einzelnen Fahrzeuge können teilweise erheblich variieren, was zu Abflussschwankungen bei Folgefahrzeugen führt und im Stauraum bemerkbar wird. Je nach Kontrollmedium (Magnetstreiftickets, Chipkarten etc.) ergeben sich zudem unterschiedliche Abfertigungszeiten, was ausführlich in Kapitel 4 behandelt wurde.

Um die Abläufe an der Abfertigungsanlage simulieren zu können, soll allen am Kontrollgerät ankommenden Fahrzeuge eine Abfertigungszeit zugewiesen werden. Aus den Erhebungen sind für alle Kontrollmedien die Verteilung der Abfertigungszeiten bekannt. Die Zuweisung erfolgt zufällig, wozu die Bootstrap Methode zur Anwendung kam.

Zuweisung der Abfertigungszeiten nach der Bootstrap Methode

Werden anhand von Stichproben aus Erhebungen Mittelwerte oder Standardabweichungen berechnet, so sind diese zufällig zustande gekommen und bilden unter Umständen nicht die genauen Werte ab. So kann es vorkommen, dass aus anderen Stichproben vom selben Umfang andere Resultate hervor gehen. Kurzum, die Zielgrößen sind selber Zufallsvariablen und deren Wahrscheinlichkeiten muss zur weiteren Berechnung bekannt sein.

Die Idee der Bootstrap Methode ist es, diese Wahrscheinlichkeitsverteilung näherungsweise über eine Simulationsrechnung zu berechnen. Dazu werden anhand der tatsächlichen Stichprobenwerte, die in eine Urne gelegt werden, durch zufälliges Ziehen und Zurücklegen dieser Werte künstliche Stichproben vom selben Umfang wie die ursprüngliche Stichprobe erzeugt (→ resampling). Mit diesen neuen Stichproben wird die Berechnung der Zielgrösse wiederholt. Die daraus gewonnene empirische Verteilungsfunktion kann dann näherungsweise für die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zielgrösse verwendet werden.

Die Bezeichnung Bootstrap (Steigbügel) entstand in Anlehnung an die Geschichte des Barons Münchhausen, der sich an den eigenen Haaren aus dem Sumpf gezogen hat.

Zurück zur Parkingsituation: Die Abfertigungszeit jedes einzelnen Fahrzeuges wird symbolisch aus einer Urne mit den entsprechend möglichen Abfertigungszeiten gezogen. In der Urne liegen Abfertigungszeiten, wie sie in Ausmass und Häufigkeit aus Erhebungen gewonnen wurden. Nach einer Zuweisung einer Abfertigungszeit kann die selbe Zeit bei einem erneuten Ziehen einem anderen Fahrzeug zulost werden.

Das angewendete Berechnungstool der Bootstrap Methode simuliert in einem Durchlauf 100 Verteilungen, aus welchen die Mittelwerte und Standardabweichungen hervor gehen. In einem weiteren Schritt werden die Durchläufe wiederholt und zwar 1'000 mal, so dass als Ergebnis 1'000 über je 100 Datengruppen gemittelte Mittelwerte und Standardabweichungen vorliegen. Daraus kann ein gesichertes 90%- Vertrauensintervall abgeleitet werden.

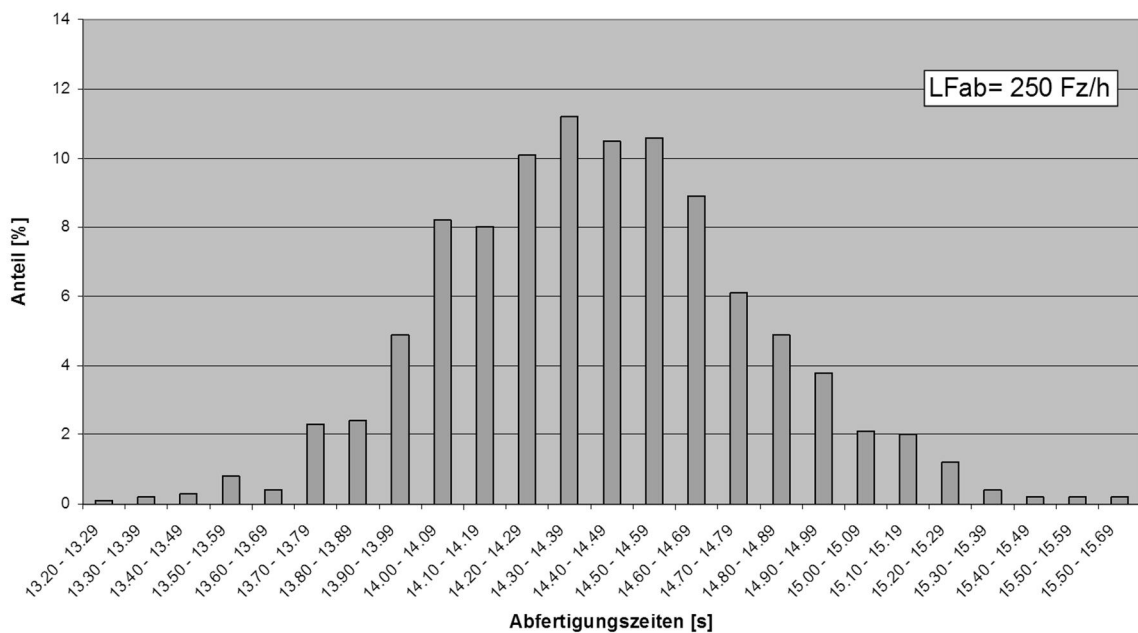


Abb. 8.85 Verteilung der Abfertigungszeiten aus einem Simulationsdurchlauf, $LF_{ab} = 250$ Fz/h

8.4 Modellierung

8.4.1 Ansatz

Der Verkehrsablauf wird durch eine Vielzahl von Bewegungsvorgängen geprägt. Der Zufallscharakter dieser Vorgänge gestattet eine Untersuchung und Beschreibung des Verkehrsablaufs mit Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der mathematischen Statistik.

Das Abfertigungssystem kann grob vereinfacht wie folgt modelliert werden:

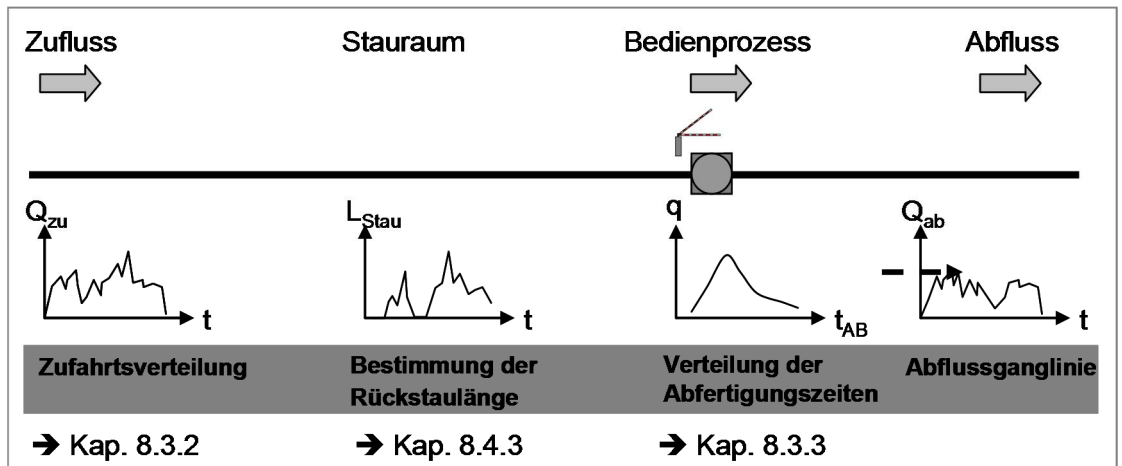


Abb. 8.87 Systemelemente eines Abfertigungssystems

Während einer vordefinierten Zeitperiode fließt je nach Nachfrage eine bestimmte Fahrzeugmenge Q_{zu} dem Abfertigungssystem zu. Der Zufluss soll zufällig und unabhängig sein, was bei der Zufahrtsverteilung zu berücksichtigen ist. Der Bedienprozess am Kontrollgerät bedarf wie das Manövrieren und Nachrücken einer Zeit, die als Abfertigungszeit definiert wurde. Auch diese ist wie die empirischen Untersuchungen gezeigt haben Schwankungen ausgesetzt, was vor allem auf das Kundenverhalten zurückzuführen ist. Ob und mit welcher Ausprägung sich ein Rückstau vor der Abfertigungsanlage bildet, ist von der Zufahrtsverteilung wie auch von den Abfertigungszeiten abhängig. Je nach Zufälligkeit folgen viele Fahrzeuge in kurzen Zeitabständen, welche mit entsprechend langen Abfertigungszeiten lange Fahrzeugkolonnen bilden können.

Die Aspekte zum Verkehrsablauf an Abfertigungsanlagen wie die einzelnen Mechanismen können teilweise mit der Warteschlangentheorie beschrieben werden. Dieser Ansatz unterscheidet im Durchlaufvorgang (kontrollierte Parking-Einfahrt) einen Ankunfts- und Bedienprozess. Mit Hilfe der Warteschlangentheorie können Wahrscheinlichkeiten und Erwartungswerte abgeleitet werden.

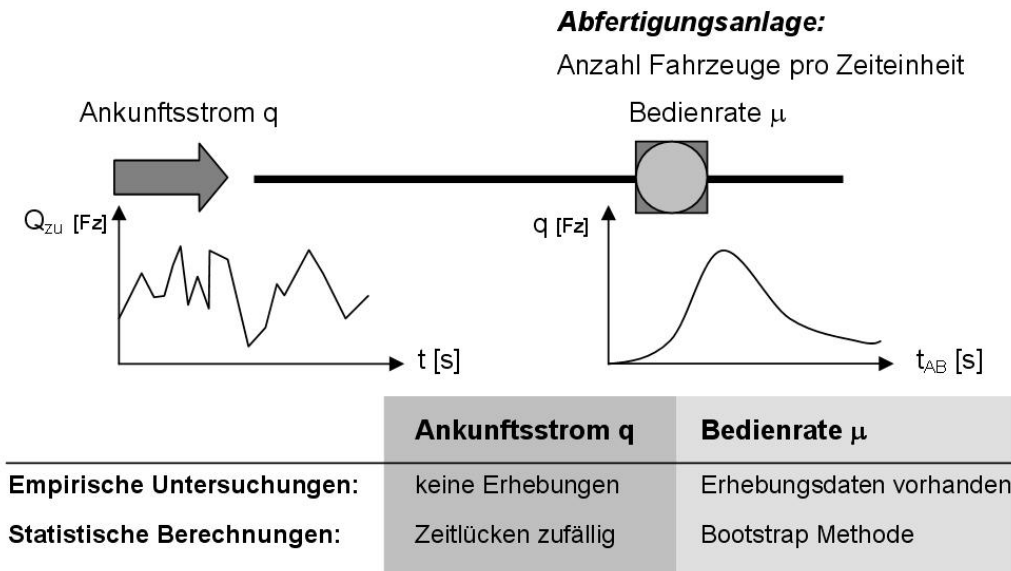


Abb. 8.88 Prinzip der Warteschlangentheorie mit Ankunftsstrom und Bedienrate

8.4.2 Bestimmung der Rückstaulängen

Durch Kombination der Zufahrtsverteilung und der Zuweisung einer Abfertigungszeit pro Fahrzeug (Bedienrate μ) kann die Parkhausein- oder -ausfahrt simuliert werden.

Um Erkenntnisse über die Entwicklung im Stauraum zu gewinnen, waren die Fahrzeug Zu- und Abnahmen im Stauraum zu untersuchen. So war unter anderem die Kenntnis über die jeweils aktuelle Rückstaulänge pro Sekunde erforderlich, um daraus Aussagen über die Stundenganglinien abzuleiten. Dazu kam eine eigens programmierte Simulationssoftware zur Anwendung, welche die Inputdaten der Zufahrts- und Abfertigungsverteilung verarbeitete und pro Sekunde die Anzahl Fahrzeuge im Warteraum als Ergebnis ausweisen konnte.

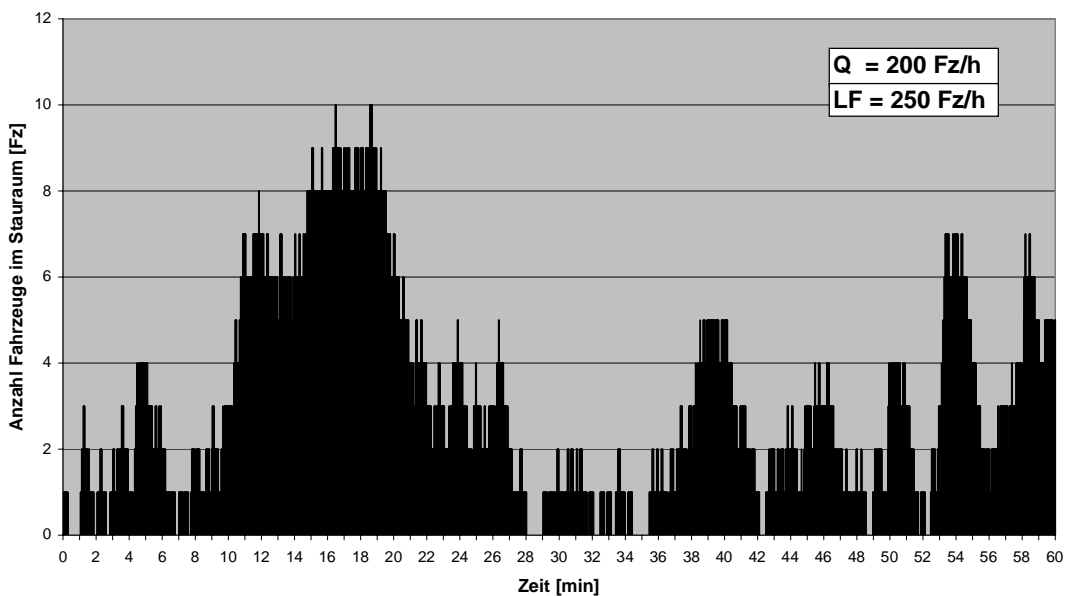


Abb. 8.89 Rückstaulängen über die Stunde bei $Q=200$ Fz/h und $LF= 250$ Fz/h

Ein Zähler, der sekundengenau die zu- und weggehenden Fahrzeuge erfasst, gibt Auskunft über die Anzahl sich im System befindenden Fahrzeuge.

	Total	Max	
Einfahrten	200	1	
Ausfahrten	200	1	
Staulänge			6 Fahrzeuge
	Einfahrten	Ausfahrten	Anzahl Fahrzeuge vor Abfertigung
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	1	0	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	0	0	1
10	0	0	1
11	0	0	1
12	0	0	1
13	0	0	1
14	1	0	2
15	0	1	1
16	0	0	1
17	0	0	1
18	0	0	1
19	0	0	1
20	0	0	1

Abb. 8.90 Fahrzeugzähler des Abfertigungssystems (hier: 20 Sekunden dargestellt)

Die Simulationssoftware erfasste weiter für jedes Fahrzeug folgende Kennwerte:

- Einfahrtszeitpunkt
- Wartezeit
- Bedienzeitpunkt
- Bedienzeit
- Abfertigungszeitpunkt
- Folgefahrzeug / Einzelfahrzeug
- Ein-/Ausfahrtszeit: Dauer gesamter Ein- oder Ausfahrtsprozess

Daraus können folgende Auswertungen berechnet werden:

- Aktuelle Rückstaulänge pro Sekunde
- Mittlere Rückstaulänge (t50%)
- Rückstaulänge t90% (Überstauung während 6 Minuten)
- Rückstaulänge t95% (Überstauung während 3 Minuten)
- Rückstaulänge t99% (Überstauung während 36 Sekunden)
- Maximale Rückstaulänge (keine Überstauung)
- Mittlere Einfahrtszeit
- Kürzeste Einfahrtsdauer
- Längste Einfahrtsdauer
- Anzahl Fahrzeuge ohne Rückstau
- Wartezeit total
- Mittlere Wartezeit
- Maximale Wartezeit

8.4.3 Simulationsumfang

Die Leistungsfähigkeiten der untersuchten Abfertigungsanlagen wiesen Werte zwischen 150 bis 400 Fahrzeuge pro Stunde auf. Das neue Bemessungsdiagramm zur Bestimmung der erforderlichen Stauräumlängen sollte Angaben in dieser Bandbreite ausweisen. Bezüglich den Zufahrtsbelastungen bot sich aufgrund der Leistungsgrenze (100% Auslastung) ein Betrachtungsfeld zwischen 100 bis 400 Fahrzeuge pro Stunde an. Es ergab sich somit folgendes Betrachtungs- respektive Untersuchungsfeld:

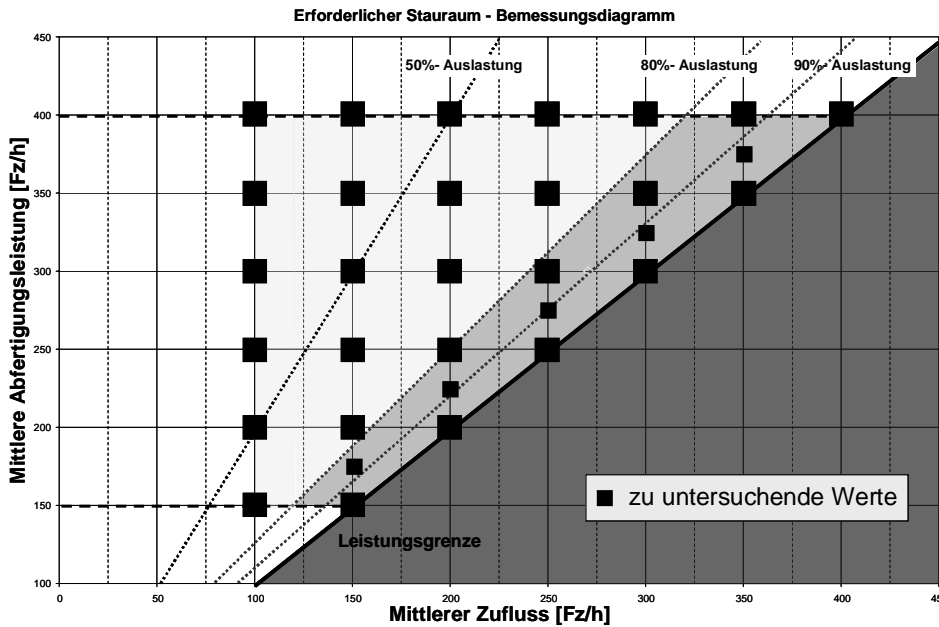


Abb. 8.91 Untersuchungsfeld der Rückstaulängen

Anzahl Simulationen pro Wertepaar

Die Rückstaubildung ist sowohl von der Zufahrtsbelastung wie auch von der Abfertigungsleistung abhängig. Beide Größen sind Schwankungen ausgesetzt, was in den beiden vorangegangenen Kapiteln behandelt wurde. Je nach Ausprägung dieser beiden Inputgrößen resultiert eine andere maximale Rückstaulänge.

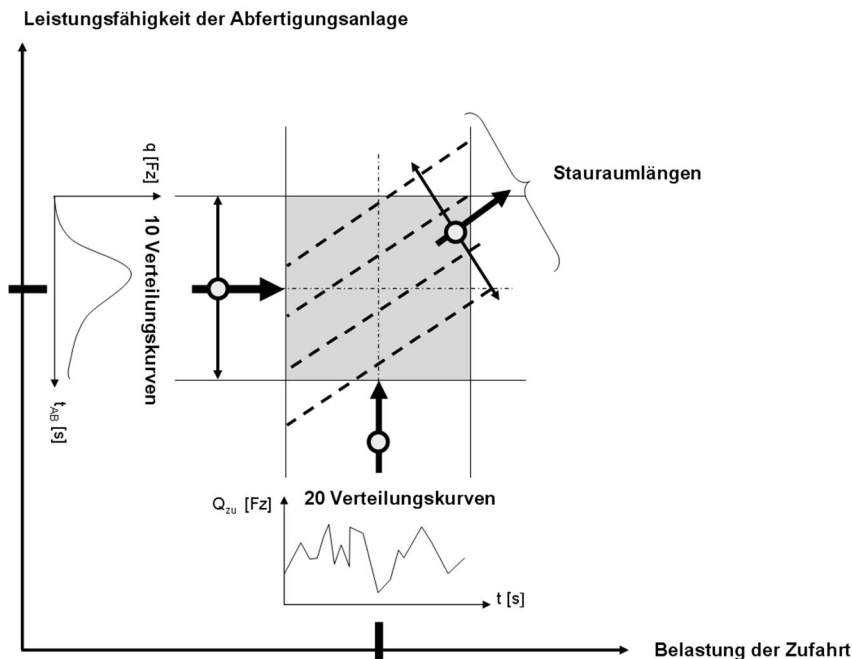


Abb. 8.92 Zusammenhang zwischen Variation der Inputgrößen und Zielgröße

Zur Bestimmung der Stauräumlichkeiten flossen pro Zufahrtsbelastung 20 Verteilungskurven und pro Abfertigungsleistung 10 Verteilungskurven als Inputgrößen in die Simulation ein. Anhand der 200 Rückstaukurven konnte der zu dimensionierende Stauraum, welcher eine Überstauungssicherheit von 85% aufweisen soll, bestimmt werden.

8.5 Entwicklung und Verhalten der Rückstaulängen

8.5.1 Vorbemerkungen

Um die Prozesse in Abfertigungssystemen besser zu verstehen und um die Sensitivität und Wirkung ihrer Elemente auf die Staubildung zu quantifizieren, waren zunächst Abläufe unter vereinfachten Systembedingungen analysiert worden.

So werden in diesem Kapitel zunächst die Mechanismen näher betrachtet, welche zu einer Staubildung oder Minderung führen. Weiter wird der Einfluss der Abfertigungsleistung auf die Kolonnenbildung betrachtet. Dazu werden bei gleichbleibender Zufahrtsbelastung diverse Abfertigungsleistungen simuliert. Analog werden die Einflüsse der Zufahrtsbelastung bei gleichbleibender Abfertigungsleistung betrachtet.

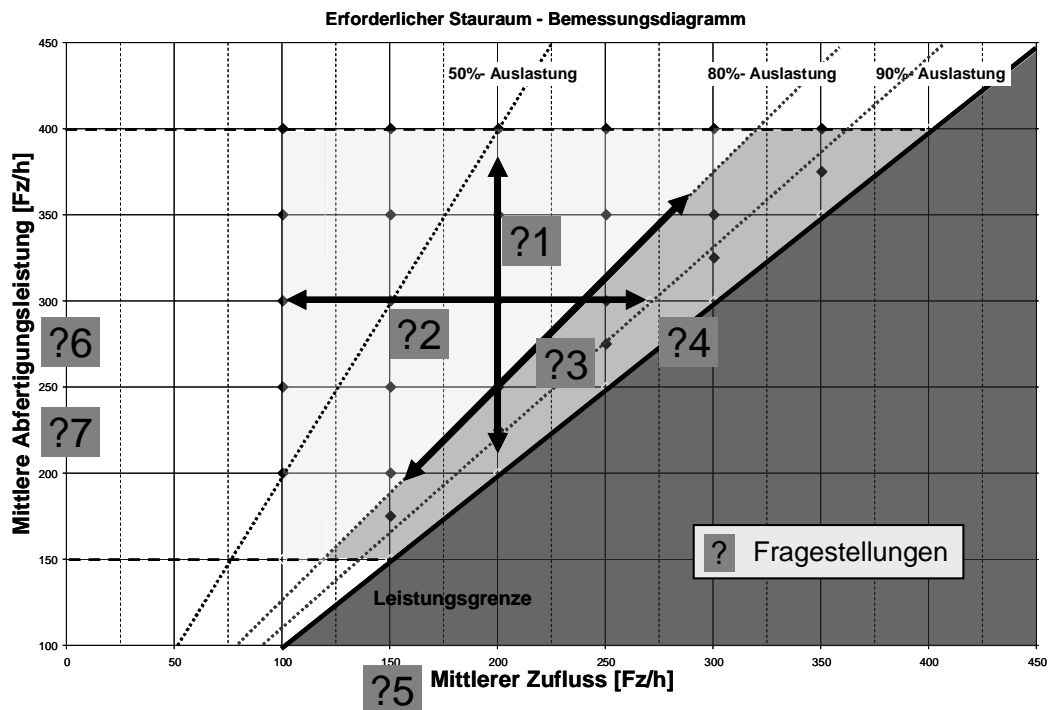


Abb. 8.93 Fragestellungen bezüglich des Verhaltens der Rückstaulängen

Von Interesse ist die Entwicklung der Rückstaulänge bei Veränderung der einen oder anderen Inputgröße. Bezüglich des Verhaltens der Rückstaulängen standen folgende Fragestellungen zur Diskussion:

- Frage 1: Verhalten bei gleichbleibender Zufahrtsbelastung und veränderlicher Abfertigungsleistung (vertikale Gerade im Bemessungsdiagramm)?
- Frage 2: Verhalten bei gleichbleibender Abfertigungsleistung und veränderlicher Zufahrtsbelastung (horizontale Gerade im Bemessungsdiagramm)?
- Frage 3: Verhalten bei selben Auslastungsgrad (entlang Auslastungsgerade)?
- Frage 4: Verhalten im Bereich der Leistungsgrenze (Auslastungsgrad= 100%)?
- Frage 5: Verhalten bei Zufahrtmassierungen / Pulks?
- Frage 6: Konstanter Abfertigungsleistung?
- Frage 7: Verhalten bei mehrspurigen Ein-/Ausfahrten?

8.5.2 Einfluss der Abfertigungsleistung auf die Rückstaubildung

Wie stark sich unterschiedliche Abfertigungsleistungen auf die Rückstaulängen auswirkt, wurde anhand von Simulationen bei gleichbleibender Zufahrtsbelastung von 200 Fahrzeugen pro Stunde untersucht. Die Abfertigungsleistung wurde zwischen 225 und 400 Fahrzeugen pro Stunde variiert, was einer vertikalen Betrachtung im Bemessungsdiagramm entspricht. Im Anhang können die jeweiligen Verteilungskurven nachgeschlagen werden. Nachfolgend werden jene zu den Auslastungen 50%, 80%, 90% und 100% näher erläutert.

Auslastungsgrad von 50%: $LF_{AB}= 400 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu}= 200 \text{ Fz/h}$

Mit einer Leistung von 400 Fz/h ist die Abfertigungsanlage zu 50% ausgelastet. Die 85%-Marke der Rückstaulänge t_{95} liegt bei 2.06 Fahrzeugen, was einem Stauraumbedarf von ungefähr 11m entspricht. Die maximalen Rückstaulängen weisen bis 8 Fahrzeuge resp. 48 Meter Stauraumbedarf auf. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verteilung der je 100 simulierten Rückstaulängen, welche während 50%, 90%, 95% und 100% der Bemessungsstunde kürzer oder gleich den ausgewiesenen Werten entsprechen.

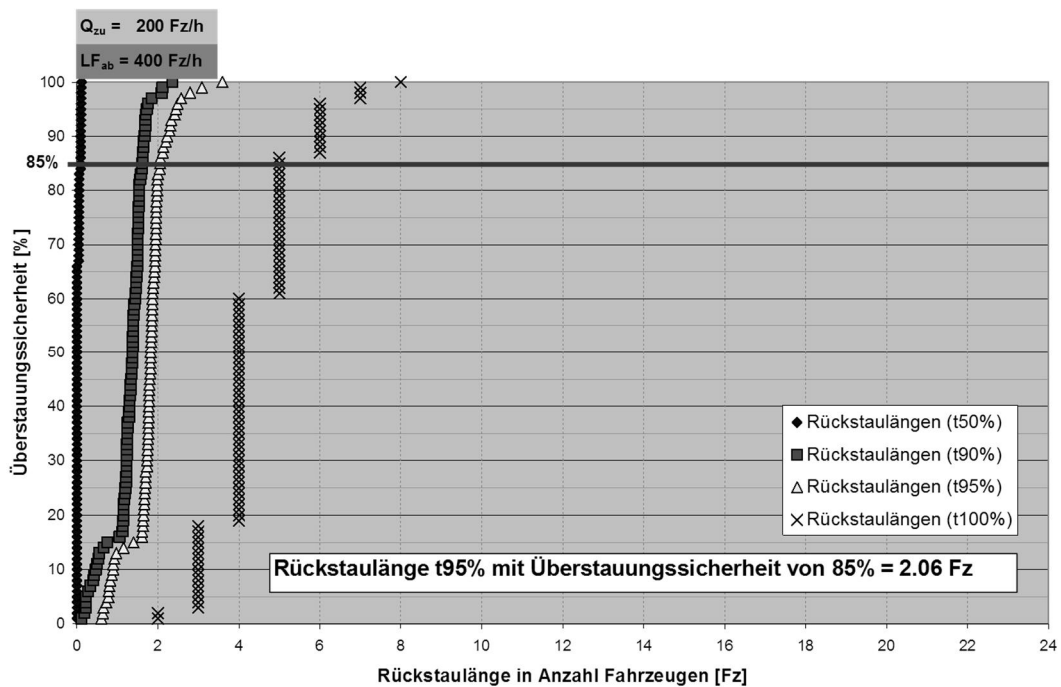


Abb. 8.94 Verteilung der Rückstaulängen für $LF_{ab}= 400 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu}=200 \text{ Fz/h}$

Auslastungsgrad von 80%: $LF_{AB}= 250 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu}= 200 \text{ Fz/h}$

Mit abnehmender Abfertigungsleistung steigen die Rückstaulängen an. Bei einer Abfertigungsleistung von 250 Fahrzeugen pro Stunde liegt die Rückstaulänge $t_{95\%}$ mit Überstauungssicherheit von 85% bei 7.32 Fahrzeugen, was einem Stauraumbedarf von 44m entspricht. Im Vergleich zur Abfertigungsleistung von 400 Fz/h ist ein um 5 Fahrzeuge längerer Warteraum vorzusehen.

Auslastungsgrad von ~90%: $LF_{AB}= 225 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu}= 200 \text{ Fz/h}$

Bei einer Auslastung der Abfertigungsanlage von 90% nehmen die Rückstaulängen markant zu. Wie der Vergleich der beiden Abbildungen xy und xy zeigen verschieben sich alle Verteilkurven gegen rechts und somit gegen längere Rückstaulängen. Während sich die Kurve der Rückstaulängen $t_{50\%}$ gegen oben um 2-3 Fahrzeuge verschiebt, nehmen die maximalen Rückstaulängen $t_{100\%}$ um bis zu 15 Fahrzeugen zu. Die Rückstaulänge $t_{95\%}$ weist bei der 85%-Marke eine Länge von 11.8 Fahrzeugen auf, was einem Stauraumbedarf von über 70m entspricht.

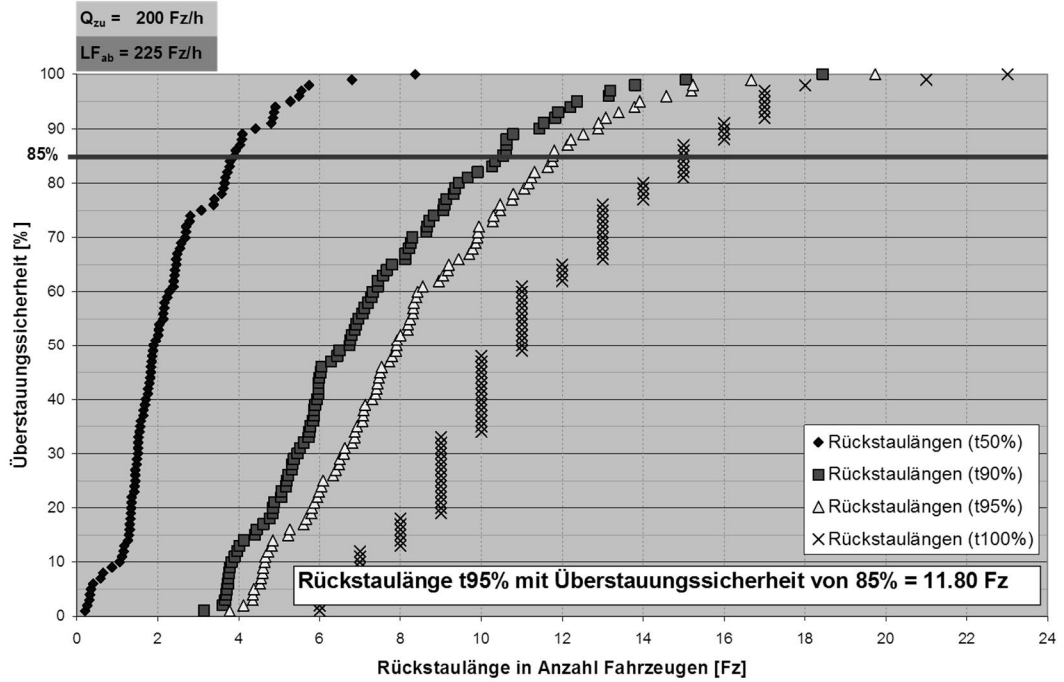


Abb. 8.95 Verteilung der Rückstaulängen für $LF_{ab} = 225 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu} = 200 \text{ Fz/h}$

Auslastungsgrad von 100%: $LF_{AB} = 200 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu} = 200 \text{ Fz/h}$

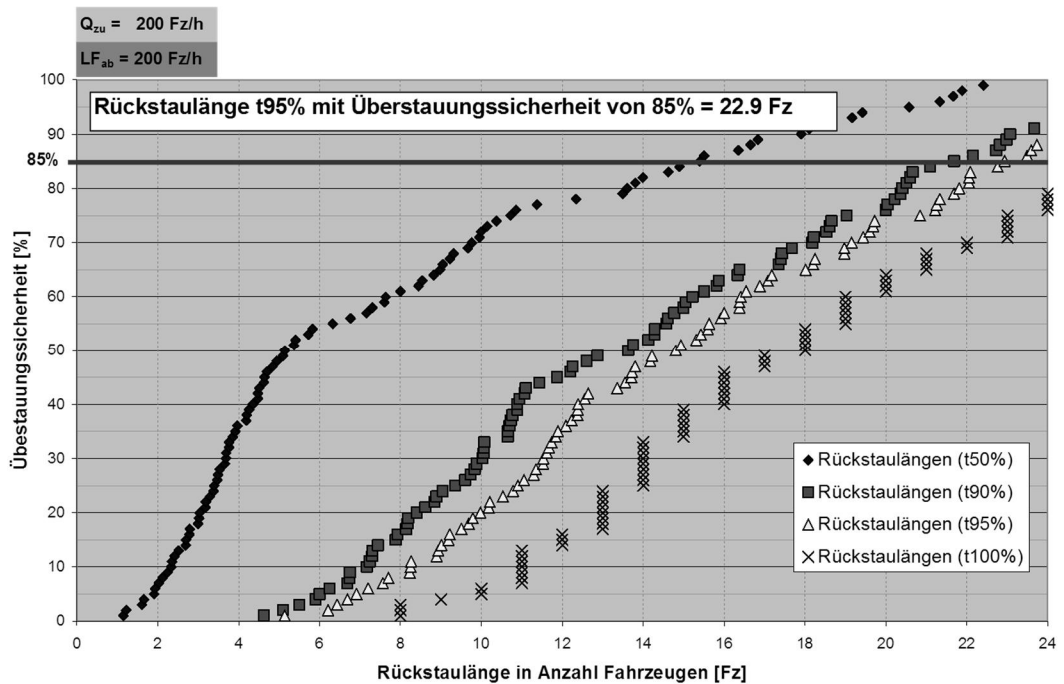


Abb. 8.96 Verteilung der Rückstaulängen für $LF_{ab} = 200 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu} = 200 \text{ Fz/h}$

Erreicht die Abfertigungsanlage ihre Leistungsgrenze so resultieren sehr markante Rückstaulängen bis über 30 Fahrzeuge in der Spitze. Die Rückstaulänge t95% weist bei einer Überstauungssicherheit von 85% einen Stauraumbedarf von 22.9 Fahrzeugen auf, was einer Länge von fast 140m entspricht. Nebst den Spitzenwerten weist auch die Verteilung der Rückstaulänge t50% hohe Werte aus. So sind Rückstaulängen von mehr als 10 Fahrzeugen während der Hälfte der Bemessungsstunde keine Seltenheit.

Zusammenstellung und Interpretation der Ergebnisse

Die Rückstaulängen $t_{95\%}$ betragen bei einer Auslastung von 50% und einer Überstauungssicherheit von 85% 2.1 Fahrzeuge. Die Rückstaulängen nehmen mit abnehmender Abfertigungsleistung erwartungsgemäss zu. Bei einer Auslastung von 80% weist dieser Wert bereits ein erforderlicher Stauraum von 7.3 Fahrzeugen aus. Steigt der Auslastungsgrad weiter an, so nehmen die Rückstaulängen noch stärker zu. Bei einer Abfertigungsleistung von 225 Fahrzeugen pro Stunde und einer Überstauungssicherheit von 85% beträgt die Rückstaulänge $t_{95\%}$ bereits 11.8 Fahrzeuge. Die Zunahme der Rückstaulängen kann bei allen Verteilkurven beobachtet werden und liegen in der selben Grössenordnung. Die Maximalwerte nehmen bei einer Überstauungssicherheit von 85% von 5 Fahrzeugen bis 26 Fahrzeuge zu.

Werden alle Werte berücksichtigt (theoretische Überstauungssicherheit 100%) so liegen die Spitzenwerte bei einer Auslastung der Abfertigungsanlage von 80% bei 11.9 Fahrzeugen resp. 15 Fahrzeugen. Der längste Rückstau aus allen 720 Simulationsdurchläufen beträgt 36 Fahrzeuge, was einer Länge von 216 Meter entspricht.

ÜS = 85%		t90%			t95%			t100%		
LF _{ab} =	Auslastung	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]
400	50%	1.6			2.1			5.0		
350	57%	2.0	0.4	0.4	2.8	0.8	0.8	6.0	1.0	1.0
300	67%	3.2	1.2	1.6	4.3	1.5	2.3	8.0	2.0	3.0
250	80%	6.0	2.8	4.4	7.3	3.0	5.3	10.0	2.0	5.0
225	~90%	10.5	4.5	8.9	11.8	4.5	9.7	15.0	5.0	10.0
200	100%	21.7	11.2	20.1	22.9	11.1	20.8	26.0	11.0	21.0

ÜS = 100%		t90%			t95%			t100%		
LF _{ab} =	Auslastung	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]
400	50%	2.4			3.1			8.0		
350	57%	3.2	0.8	0.8	4.2	1.1	1.1	9.0	1.0	1.0
300	67%	5.3	2.1	3.0	6.9	2.7	3.8	12.0	3.0	4.0
250	80%	10.5	5.2	8.1	11.9	5.1	8.8	15.0	3.0	7.0
225	~90%	18.4	7.9	16.0	19.7	7.8	16.6	23.0	8.0	15.0
200	100%	31.0	12.6	28.6	31.0	11.3	27.9	36.0	13.0	28.0

Abb. 8.97 Vergleich der Rückstaulängen bei einer Überstauungssicherheit von ÜS=85% und ÜS=100%

Die Zunahme der Rückstaulängen kann auch anhand der Standardabweichungen festgestellt werden. Ab einem Auslastungsgrad von 80% nehmen die Standardabweichungen stärker zu. Während die Standardabweichung bei den Daten der Rückstaulängen $t_{95\%}$ bei einer Abfertigungsleistung von 400 Fahrzeugen pro Stunde noch bei 0.49 liegt, nimmt diese bis zur Leistungsgrenze um 5.78 auf 6.27 zu.

Standardabw		t90%			t95%			t100%		
LF _{ab} =	Auslastung	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]	R.Stau [Fz]	Δ [Fz]	ΣΔ [Fz]
400	50%	0.44			0.49			1.09		
350	57%	0.51	0.07	0.07	0.66	0.17	0.17	1.30	0.21	0.21
300	67%	0.82	0.31	0.38	1.04	0.38	0.55	1.55	0.25	0.46
250	80%	1.68	0.86	1.24	1.93	0.89	1.44	2.20	0.65	1.11
225	~90%	2.92	1.24	2.48	3.14	1.21	2.65	3.41	1.21	2.32
200	100%	6.34	3.42	5.90	6.27	3.13	5.78	6.36	2.95	5.27

Abb. 8.98 Vergleich der Standardabweichungen der simulierten Rückstaulängen

Auslastungsgrade der Abfertigungsanlage während der Bemessungsstunde von über 80% sollten aus folgenden Gründen vermieden werden:

- die Rückstaulängen nehmen markant zu
- starke Schwankungen der Rückstaulängen
- keine Reserven bei Spitzenbelastungen
- die Planungssicherheit nimmt ab

8.5.3 Einfluss der Zufahrtsbelastung auf die Kolonnenbildung

Nachdem aufgezeigt werden konnte, welche Einfluss die Abfertigungsleistung auf die Sensitivität der Rückstaulängen hat, soll nachfolgend der Einfluss der Zufahrtsbelastung aufgezeigt werden.

Hierzu wurden die Rückstaulängen zu mittleren Zufahrtsbelastungen von 150 respektive 250 Fahrzeugen pro Stunde miteinander verglichen. Die Rückstaulänge t95% zur Zufahrtsbelastung $Q = 150 \text{ Fz/h}$ weist bei der 85% Marke einen Wert von 4.3 Fahrzeugen auf.

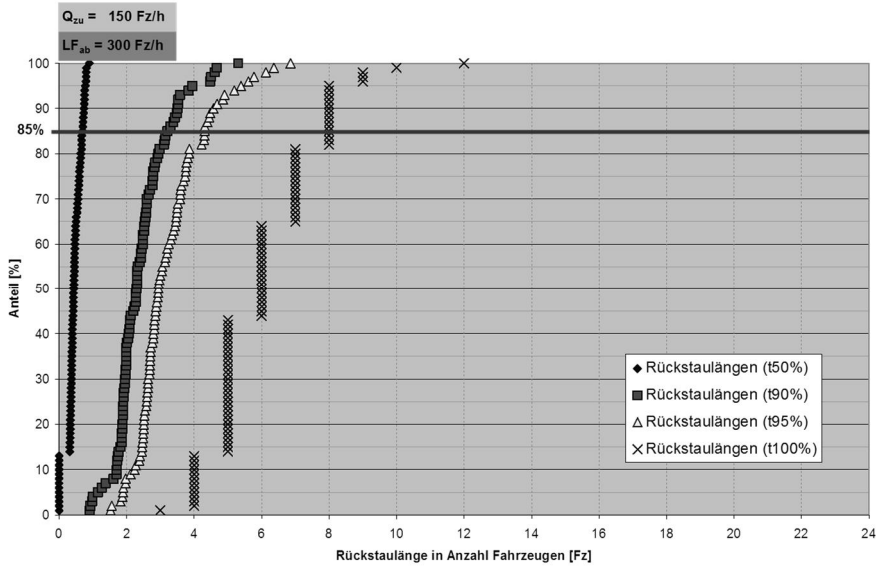


Abb. 8.99 Verteilung der Rückstaulängen für $LF_{ab} = 300 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu} = 150 \text{ Fz/h}$

Mit zunehmender Zufahrtsbelastung nehmen die Rückstaulängen zu. Bei einer mittleren Zufahrtsbelastung von 250 Fz/h weist die Rückstaulänge t95% bei der 85% Marke eine Länge von 7.6 Fahrzeugen auf. Die Rückstaulänge hat sich um 3.3 Fahrzeuge vergrößert, was einer Zunahme von 75% entspricht.

Die Zunahme ist vor allem auf die höheren Zufahrtsintensitäten beim Zufahrtsstrom zurückzuführen. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Schwankungen im Zufahrtsstrom zu Zufahrtsintensitäten führen, die über der durchschnittlichen Bedienrate liegen, ist bei höherer Zufahrtsbelastung deutlich grösser.

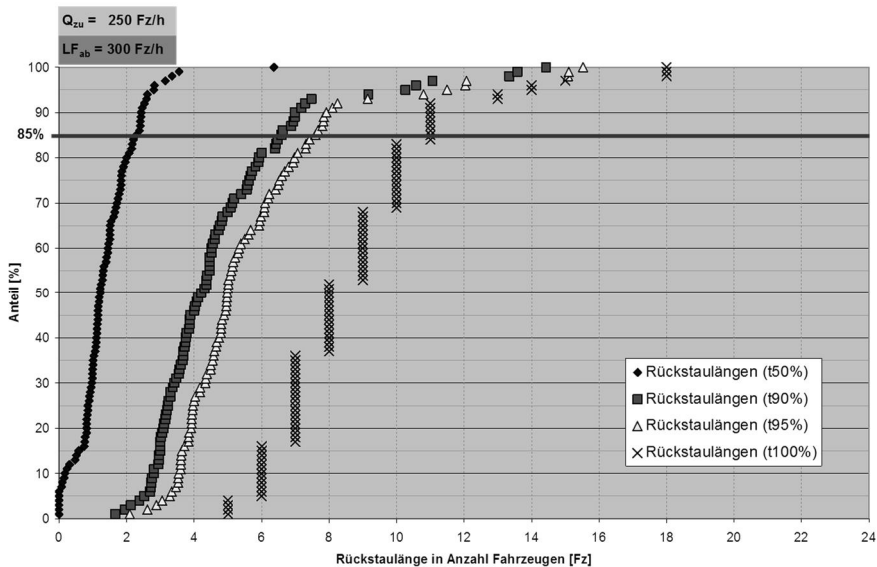


Abb. 8.100 Verteilung der Rückstaulängen für $LF_{ab} = 300 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu} = 250 \text{ Fz/h}$

8.5.4 Verhalten bei selben Auslastungsgraden

Da das Verhältnis von Zufahrtsintensität zur Bedienrate einen entscheidenden Einfluss auf die Rückstaubildung hat, kann vermutet werden, dass bei selben Auslastungsgraden vergleichbare Rückstaulängen resultieren. Dazu werden zwei Belastungsszenarien simuliert und zueinander verglichen.

Auslastungsgrad von 80%: $LF_{AB}= 250 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu}= 200 \text{ Fz/h}$

Bei einer mittleren Zufahrtsbelastung von 200 Fz/h und einer Abfertigungsleistung von 250 Fz/h (Auslastungsgrad von 80%) resultiert eine Rückstaulänge t95% von 7.3 Fahrzeugen bei der 85% Marke.

Auslastungsgrad von 80%: $LF_{AB}= 300 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu}= 240 \text{ Fz/h}$

Weist die mittlere Zufahrtsbelastung einen Wert von 240 Fz/h und jene Abfertigungsleistung von 300 Fz/h (Auslastungsgrad von 80%) auf, so resultiert eine Rückstaulänge t95% von 7.6 Fahrzeugen bei der 85% Marke.

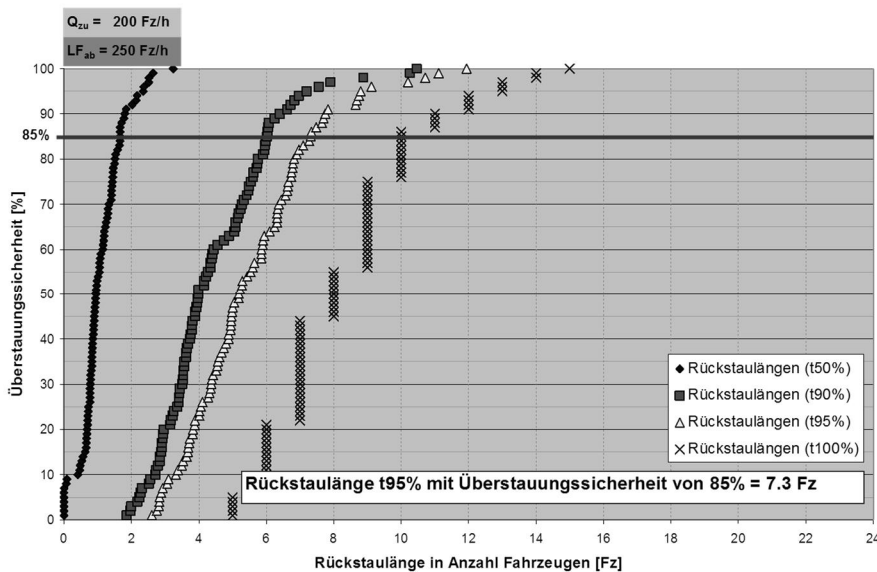


Abb. 8.101 Verteilung der Rückstaulängen für $LF_{ab}= 250 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu}= 200 \text{ Fz/h}$

Die Rückstaulängen bei selben Auslastungsgraden bewegen sich in der gleichen Größenordnung. Nebst dem oben aufgeführten Vergleich können auch die in Kapitel 8.6.1 zusammengestellten Ergebnisse interpretiert werden.

Die Ergebnisse zeigen auf, dass entlang der Auslastungsgerade sich ähnliche Rückstaulängen ergeben. Mit zunehmender Zufahrtsbelastung ist eine leichte Tendenz zu längeren Rückstaulängen zu erkennen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass bei höherer Verkehrsbelastung der Anteil kurzer Zeitlücken etwas grösser ist und folglich die Wahrscheinlichkeit von Zufahrtsintensitäten, die über der Bedienrate liegen, etwas grösser ausfällt.

8.5.5 Verhalten im Bereich der Leistungsgrenze

Die Rückstaulängen schwanken im Bereich der Leistungsgrenze sehr stark. Die Gründe hierzu sollen nachfolgend aufgezeigt werden.

Die mittlere Zufahrtsbelastung liegt in der Größenordnung der Bedienrate, so dass kleinste Abweichungen von der durchschnittlichen Folgezeitlücke zu höheren Zufahrtsintensitäten führt und Rückstaubildungen die Folgen sind.

Dieser Sachverhalt wird anhand eines Beispiels illustriert:

Auslastungsgrad von 100%: $LF_{AB} = 300 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu} = 300 \text{ Fz/h}$

Die Abfertigungsanlage kann alle 12 Sekunden (300 Fz/h) ein Fahrzeug bedienen. Bei einer mittleren Zufahrtsbelastung von 300 Fahrzeugen pro Stunde fährt durchschnittlich alle 12 Sekunden ein Fahrzeug dem System zu. Je nach Verteilung der Folgezeitlücken der ankommenden Fahrzeuge nimmt die Zufahrtsintensität zu beziehungsweise ab. Folgen anstelle von durchschnittlich 5 Fahrzeugen in einer Minute deren 10 oder 15 Fahrzeuge, so beträgt der Zuwachs im Stauraum der Differenz zur Bedienrate. Somit wächst bei einer Zufahrtsintensität von 15 Fahrzeugen pro Minute der Rückstau in einer Minute um 10 Fahrzeuge an. Die Differenz zur durchschnittlichen Ankunftsrate wirkt sich direkt bei der Rückstaubildung aus, was die starken Schwankungen der Rückstaulängen erklärt.

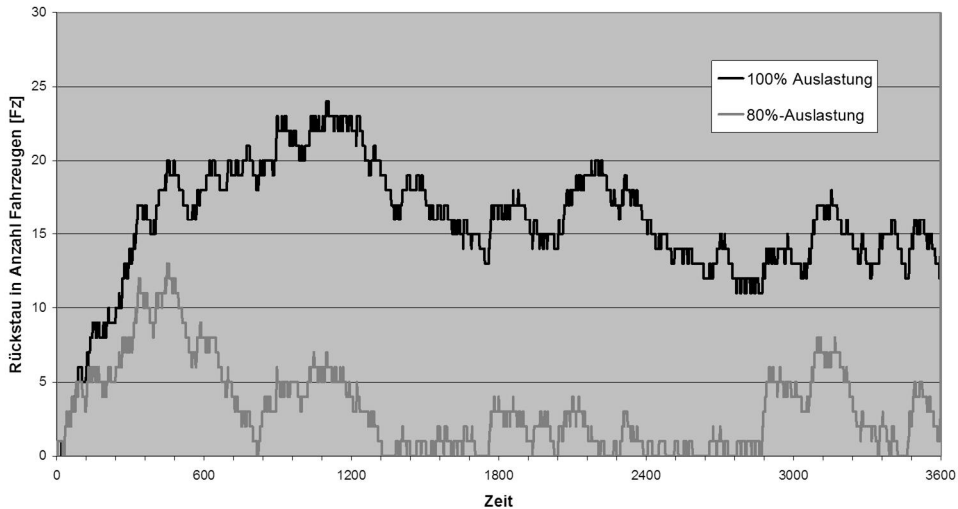


Abb. 8.102 Rückstauentwicklung bei Auslastungsgraden von 80% und 100%. Zunächst nimmt der Rückstau bei beiden Verteilungen zu. Während mit einer 80% Auslastung ab ca. der 500. Sekunde eine Erholung durch geringere Zufahrtsintensitäten eintritt, wächst der Rückstau bei voller Auslastung noch weiter an. Deutlich wird auch der Unterschied der Rückstaulängen im Bereich der Leistungsgrenze. Der Maximalwert bei 100% Auslastung liegt doppelt so hoch wie jener bei 80% Auslastung.

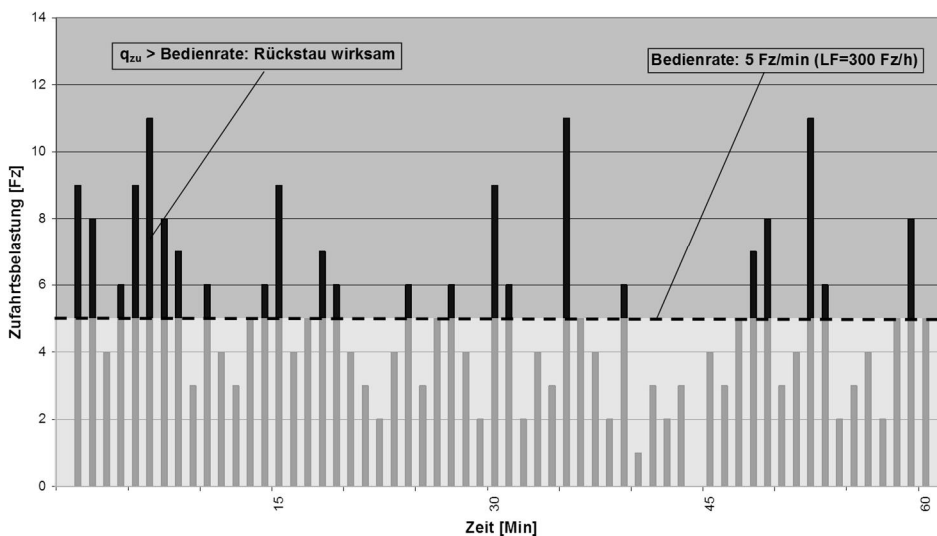
Zufahrtsverteilung $Q=300 \text{ Fz/h}$ über die Bemessungsstunde

Abb. 8.103 Der Vergleich von Zufahrtsbelastung und Bedienrate verdeutlicht, dass über die Bemessungsstunde kaum eine Erholung (Werte $< 5 \text{ Fz}$) im Stauraum eintritt. Die hohe Zufahrtsintensität zu Beginn zeigt sich im steilen Anstieg des Rückstaus (Abb.8.102).

8.5.6 Verhalten bei erhöhten Zufahrtsintensitäten und Zufahrtsmassierungen (Pulks)

Wie schnell eine Fahrzeugkolonne vor einer Abfertigungsanlage zunimmt und wie stark ausgeprägt diese schliesslich ist, hängt einerseits von der Zufahrtsintensität und andererseits von der Bedienrate am Abfertigungsgerät ab. Nachfolgend wird die Sensitivität der Rückstaulängen bei unterschiedlichen Zufahrtsintensitäten aufgezeigt.

Auslastungsgrad von 80%: $LF_{AB} = 300 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu} = 240 \text{ Fz/h}$

Bei einer Abfertigungsleistung von 300 Fahrzeugen pro Stunde können durchschnittlich 5 Fahrzeuge pro Minute bedient werden. Die Zufahrtsbelastung sei 240 Fahrzeuge pro Stunde, womit alle 15 Sekunden ein Fahrzeug in die Einfahrtsgasse einfährt. Die Zufahrtsintensität, welche durch die Zufahrtsbelastung pro Zeiteinheit ausgedrückt wird, beträgt im Mittel 4 Fahrzeuge in einer Zeiteinheit von einer Minute.

Würde die Verteilung des Zufahrtsstromes über die Bemessungsstunde konstant bei 15 Sekunden verbleiben, so wäre aufgrund der kürzeren Bedienrate von 12 Sekunden nie ein Rückstau zu beobachten. Die zeitlichen Schwankungen im Zufahrtsstrom führen zu ausgeprägten Zufahrtsintensitäten, welche - wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln aufgezeigt - massgeblich auf die Rückstaubildung auswirken. Bereits auf die Abfolge weniger kurzer Folgezeitlücken ergibt sich eine höhere Zufahrtsintensität, welche je nach Betrachtung des Zeitabschnittes über jenem Wert der durchschnittlichen Bedienrate liegen kann.

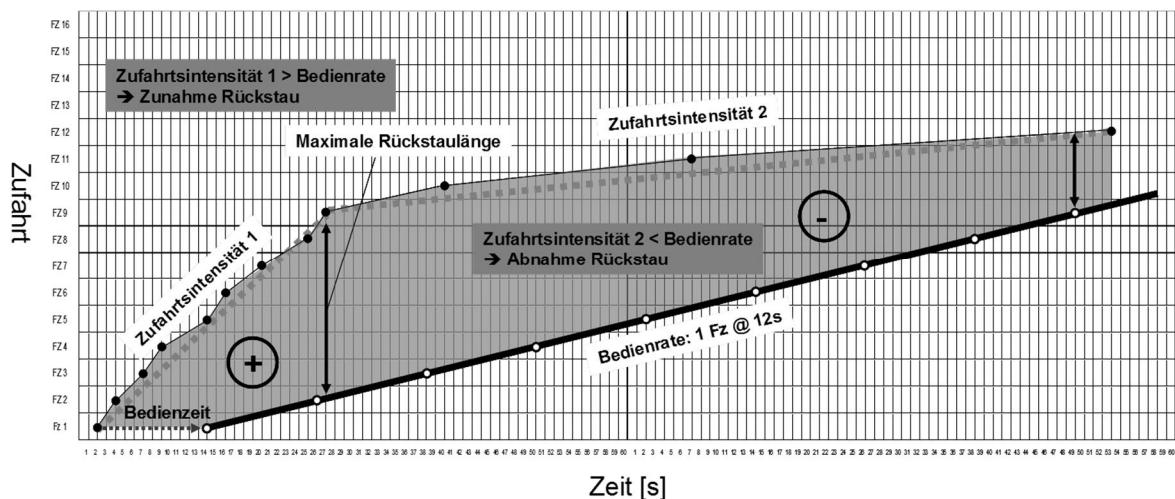


Abb. 8.104 Mechanismus von Zu- und Abnahme des Rückstaus: Verläuft die Steigung der Zufahrtsintensität 1 steiler als jene der Bedienrate, so nimmt der Rückstau zu. Die Differenz der Einfahrtsgerechten zur Bediengeraden entspricht der jeweiligen Fahrzeugmenge im Stauraum (Fläche dunkel hinterlegt). Der maximale Rückstau ist bei diesem Beispiel beim Übergang zur Zufahrtsintensität 2, welche eine geringere Steigung als die Bediengerade aufweist. Der Rückstau nimmt in der Folge aufgrund der längeren Folgezeitlücken wieder ab.

Die Abbildung 8.104 illustriert die Wirkung der Zufahrtsintensität auf die Rückstauentwicklung: Je kürzer die Folgezeitlücken desto steiler zeigt sich die Verbindungsgerade von Fahrzeug zu Fahrzeug. Fasst man einige dieser Geraden zusammen, so kann die Zufahrtsintensität einer Zeitperiode bestimmt werden. Ob der Rückstau anwächst oder abnimmt geht aus der Neigungsdifferenz zur Bediengeraden (f Bedienrate) hervor. Die Zufahrtsintensität 1 weist im Vergleich zur Bediengeraden einen deutlich steileren Verlauf auf. Während dieser Zeitperiode nimmt der Rückstau um das Mass der Differenz zu. Folglich ist der Zuwachs desto grösser je kürzer die Folgezeitlücken sind oder die massgebende Zeitperiode über eine längere Zeit dauert.

Um die Auswirkungen noch vertiefter zu betrachten sind zwei verschiedene Zufahrtsverteilung unterschiedlichen Charakter miteinander verglichen worden. Die Zufahrtsverteilung 1 weist eine deutlich stärkere erste halbe Stunde wie auch eine ausgeprägte 5-Minuten Spitze auf. Die Zufahrtsverteilung 2 setzt sich aus einer ausgeglichenen Zufahrtsintensitäten zusammen.

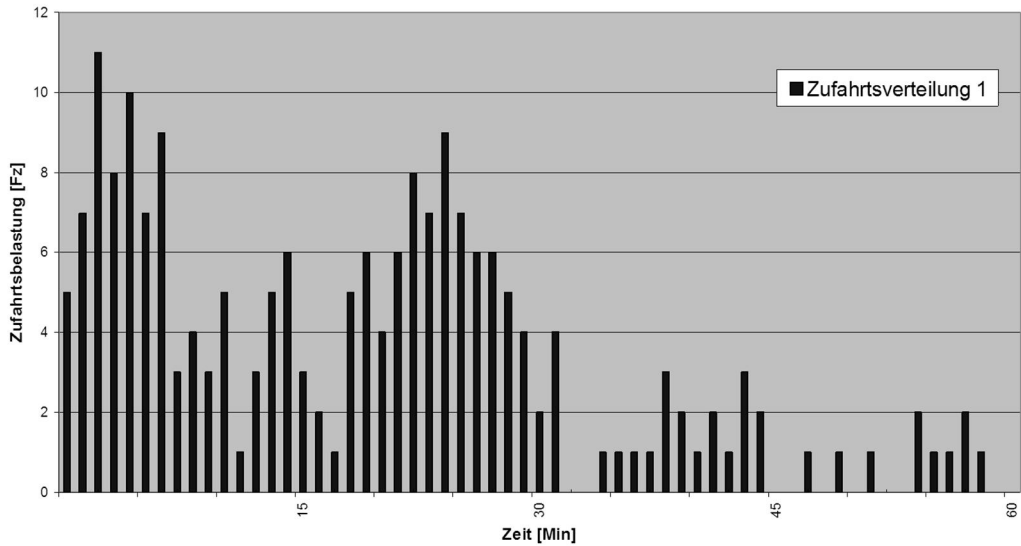


Abb. 8.105 Zufahrtsverteilung 1 mit unterschiedlichen Zufahrtsintensitäten über die Bemessungsstunde

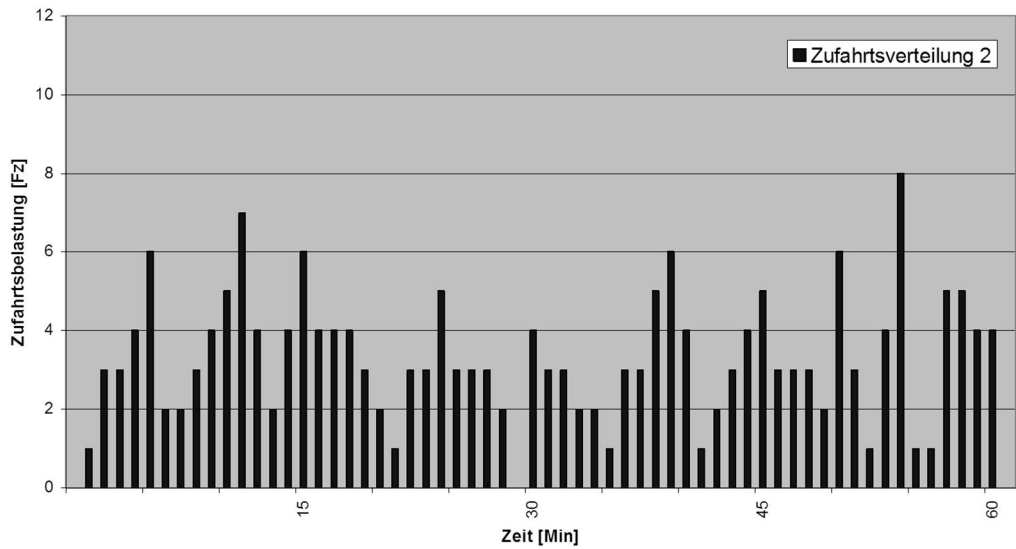


Abb. 8.106 Zufahrtsverteilung 2 mit ausgeglichenen Zufahrtsintensitäten über die Bemessungsstunde

Die Abbildung 8.107 stellt den Verlauf des Rückstaus der beiden Zufahrtsverteilung dar. Aus der Zufahrtsverteilung 1 mit den unterschiedlichen Zufahrtsintensitäten ergeben sich durchschnittlich längere Fahrzeugkolonnen als mit der Zufahrtsverteilung 2. Deutlich bemerkbar macht sich die 5-Minuten Spitze gleich zu Beginn der Simulation. Der Rückstau wächst innert kürzester Zeit auf 9 Fahrzeuge an. Anhand der Zufahrtsverteilung 2 kann erkannt werden, dass bereits eine ausgeprägte Zufahrtsintensität über eine Minute (siehe 3'300. Sekunde) zu einem Anstieg des Rückstaus auf 6 Fahrzeuge führen kann.

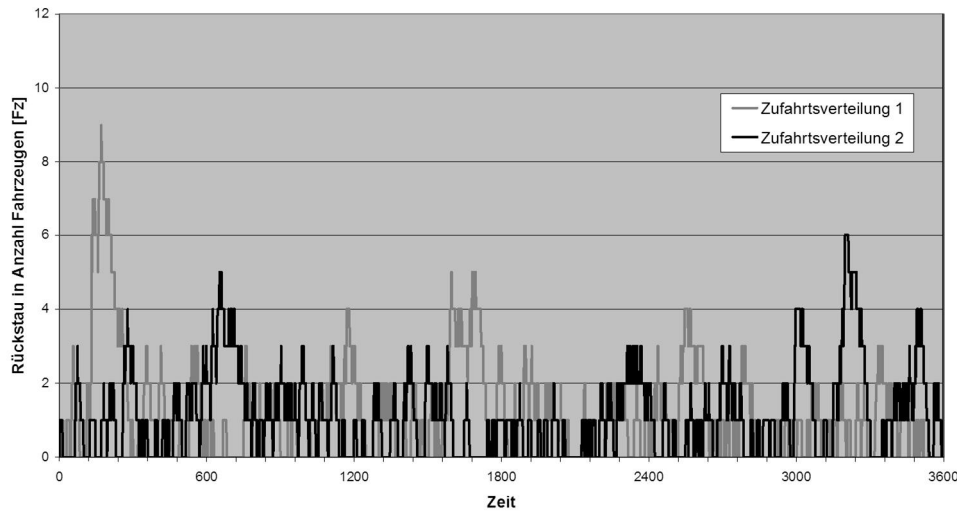


Abb. 8.107 Vergleich der Rückstauwerte zweier Zufahrtsverteilungen mit unterschiedlicher Ausprägung der Zufahrtsintensitäten

Der Differenzplot in Abbildung 8.108 zeigt deutlich, dass bei identisch hinterlegter Abfertigungskurve erhebliche Unterschiede im Stauraum zu beobachten sind, welche auf die Zufahrtsverteilung, konkreter auf die Zufahrtsintensität, zurückzuführen ist.

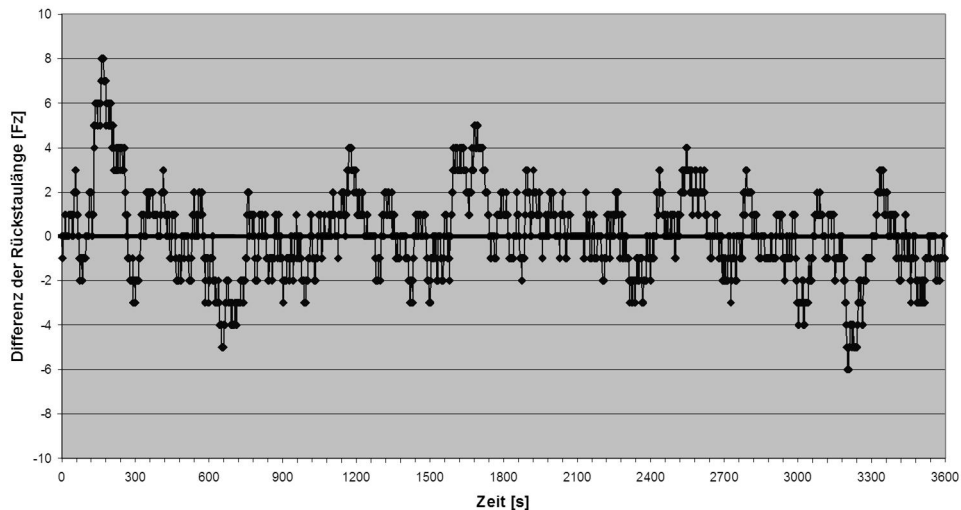


Abb. 8.108 Rückstaudifferenz aus der Zufahrtsverteilung 1 und 2

Wie die vorangegangenen Vergleiche gezeigt haben, nimmt der Rückstau vor allem bei ausgeprägten Zufahrtsintensitäten zu. Daher wird nachfolgend mit der Betrachtung von Spitzen 5-Minuten die Sensitivität der Rückstaulängen noch weiter analysiert.

Es sei wiederum eine Zufahrtsbelastung von 200 Fahrzeugen pro Stunde, welche eine ausgeprägte 5-Minuten Spitze gleich zu Beginn der Simulation aufweist. Während den ersten 5 Minuten fahren 50 Fahrzeuge ins System ein, was einem Anteil an der Gesamtbelastung von 25% entspricht. Die verbleibenden 150 Fahrzeuge werden gleichmässig auf die verbleibenden 55 Minuten verteilt (siehe Abbildung 8.109).

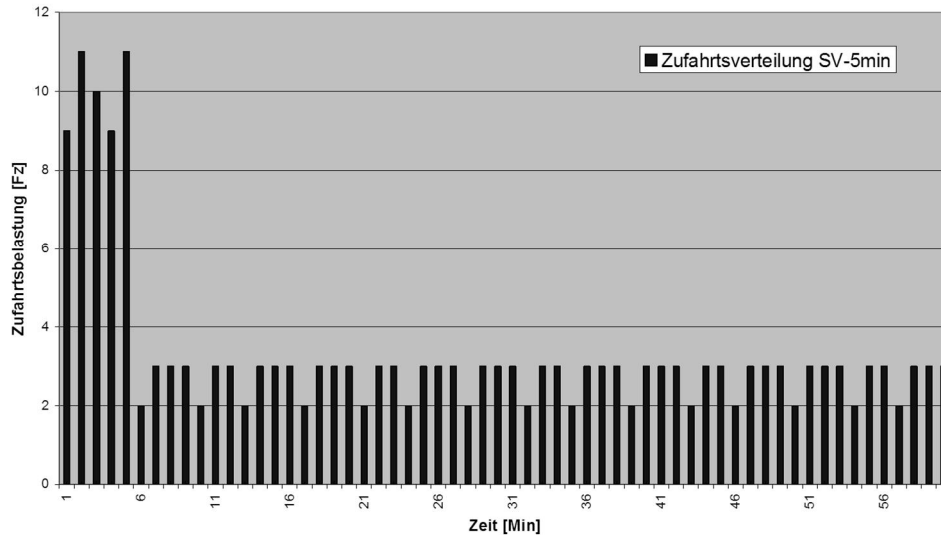


Abb. 8.109 Zufahrtsverteilung mit 5-Minuten Spitze, welche 25% des Gesamtaufkommens beträgt. Hochgerechnet auf die Bemessungsstunde würde die 5-Minuten Spitze einer Zufahrtsbelastung von 600 Fahrzeugen pro Stunde entsprechen.

Das Ergebnis aus der Simulation ist in Abbildung 8.111 dargestellt. Während der 5-Minuten Spitze stauen sich bis maximal 25 Fahrzeuge vor der Abfertigungsanlage. Das Ausmass erstaunt nicht, da die Zufahrtsintensität mit rund 10 Fahrzeugen pro Minute doppelt so hoch als die Bedienrate liegt. Pro Minute nimmt der Rückstau um 5 Fahrzeuge zu, so dass bereits nach 5 Minuten ein Rückstau von 25 Fahrzeugen zu erwarten ist.

Trotz hoher Zufahrtsintensität dürfte dieses Beispiel nicht Praxis fremd sein. So können beispielsweise im Nachgang an Grossanlässe oder bei Parking Anlagen von Einkaufszentren nach Ladenschluss solche Entleerungsspitzen beobachtet werden.

Als Vergleich zur erwähnten Zufahrtsverteilung wird eine zweite Verteilung mit einer etwas geringeren 5-Minuten Spitze simuliert. In den ersten 5 Minuten fahren 25 Fahrzeuge ein, was einer theoretischen Zufahrtsbelastung von 300 Fahrzeugen pro Stunde entspricht. Während dieser Zeit läuft somit die Abfertigungsanlage an deren Leistungsgrenze.

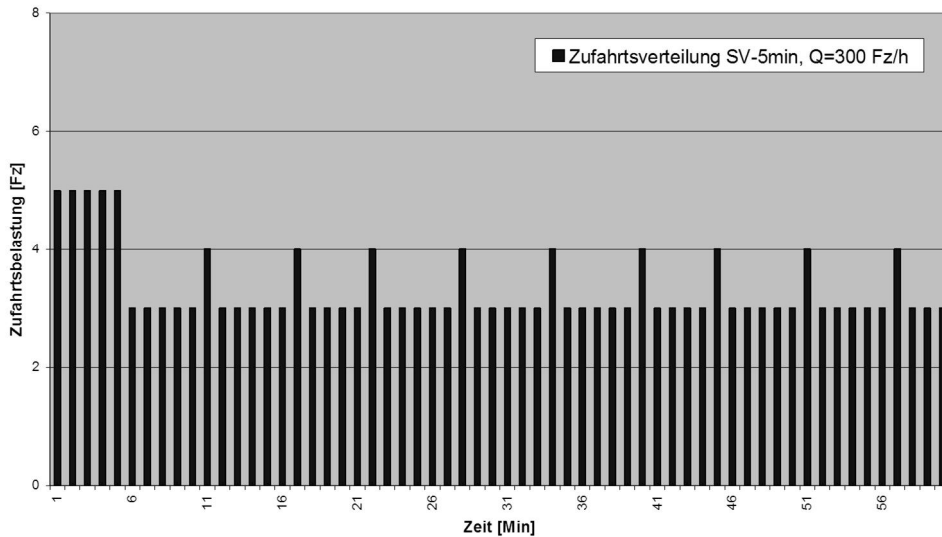


Abb. 8.110 Zufahrtsverteilung mit 5-Minuten Spitze, welche 12.5% des Gesamtaufkommens beträgt. Hochgerechnet auf die Bemessungsstunde würde die 5-Minuten Spitze einer Zufahrtsbelastung von 300 Fahrzeugen pro Stunde entsprechen.

Der Vergleich der in Abbildung 8.111 dargestellten Staukurven zeigt, dass vor allem die hohen Zufahrtsintensitäten die Rückstaubildung auslösen. Obschon mit der Zufahrtsverteilung SV-5min, Q300 die Anlage an der Leistungsgrenze läuft, ergaben sich keine markanten Kolonnenbildungen. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Zufahrtsintensität in der selben Grössenordnung der Bedienrate, nie aber höher liegt. Selbst mit der Zufahrtsverteilung 2 ohne 5-Minuten Spitze war ein längerer Rückstau zu beobachten, was auf die kurzen Zufahrtsintensitäten über der Bedienrate zurückzuführen ist.

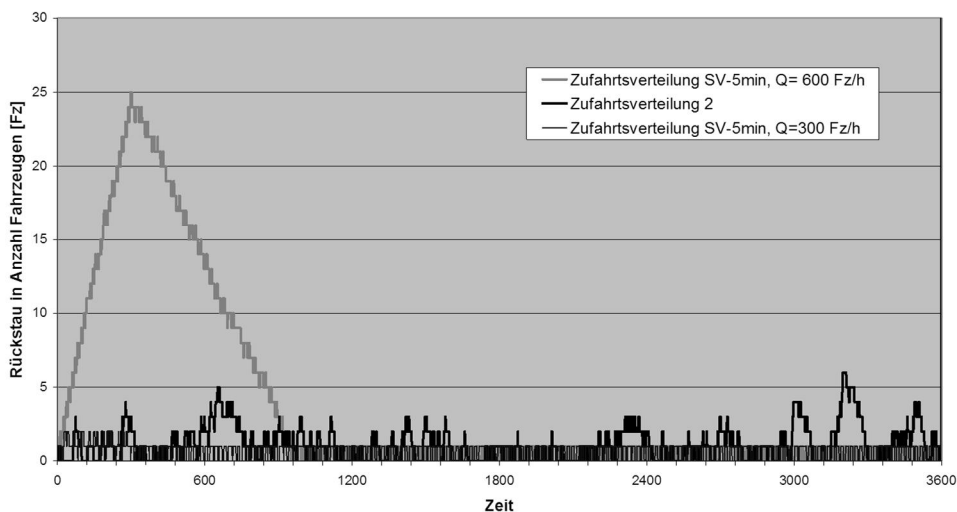


Abb. 8.111 Vergleich der Rückstauentwicklung dreier Zufahrtsverteilungen: Erheblicher Rückstau von 25 Fahrzeugen aufgrund einer markanten Zufahrtsintensität während den ersten 5 Minuten

Fahrzeugmassierungen / Pulks

Der vorhin erwähnte Zusammenhang zwischen der Zufahrtsintensität und der Rückstaubildung bei gegebener Abfertigungsleistung wurde bis anhin nur für Zustände des freien Zuflusses betrachtet. So wurde aufgezeigt, dass kurze Zeitlücken, welche unter der durchschnittlichen Bedienzeit liegen, zu einem Anwachsen einer Fahrzeugkolonne vor der Abfertigungsanlage führt.

Für Zustände mit vielen kurzen, sich folgenden Zeitlücken, wie sie beispielsweise bei einer Fahrzeugmassierung (Pulk) vorkommt, ist zu erwarten, dass die Rückstaubildung noch intensiver ausfällt.

Pulkbildungen können beispielsweise vor Parkhauseinfahrten in der Nähe von Lichtsignalanlagen auftreten und sind auf den Bündelungseffekt zurückzuführen. Wie viele Fahrzeuge innerhalb einer kurzen Zeitperiode vor der Abfertigungsanlage zu erwarten sind, ist unter anderem von der Dauer der jeweiligen Grünphase des Zustromes abhängig. Eine weitere Möglichkeit der Pulkbildung ist zu beobachten, wenn schnell fahrende Fahrzeuge zu einem oder mehreren langsam fahrenden Fahrzeug(en) aufschliessen und es in der Folge zu einer Fahrzeugmassierung kommt.

Eine geschlossene Fahrzeugkolonne weist Zeitlücken zwischen 2 und 4 Sekunden auf. Im Bereich von Lichtsignalanlagen gleicht sich die Verteilung der Fahrzeugpuls an die Grünphasen der relevanten Zuströme an. Die Distanz zwischen Lichtsignalanlage und Parkhauseinfahrt spielt aufgrund der geringen Variation der Zeitlücken eine untergeordnete Rolle. Mit zunehmender Distanz kann sich zwar der Fahrzeugpuls etwas dehnen, so dass die Zeitlücken durchschnittlich ansteigen. Die Werte sind allerdings im Vergleich zu den Bedienzeiten an der Abfertigungsanlage immer noch geringer, so dass sich die nachfolgenden Fahrzeuge auf eine stehende Fahrzeugkolonne vor der Parkhauseinfahrt zufahren.

Fazit – Rückstaulängen bei erhöhten Zufahrtsintensitäten

Die Rückstaulängen nehmen mit höheren Zufahrtsintensitäten, welche über der durchschnittlichen Bedienrate liegen, zu. Je kürzer die Folgezeitlücken der Fahrzeuge sind, desto ausgeprägter zeigt sich die Rückstaubildung. Welche Stauraumlängen bei erhöhten Zufahrtsintensitäten vorzuhalten sind kann nicht eindeutig beantwortet werden, da die Sekunden genaue Schwankungen im Zufahrtsstrom massgeblich die Rückstaulängen bestimmen.

In der Norm soll bezüglich erhöhten Zufahrtsintensitäten darauf hingewiesen werden, dass kurzweilige Spitzen wie fiktiv höhere Zufahrtsbelastungen zu betrachten sind und dies im Bereich der Leistungsgrenze zu überdurchschnittlich langen Rückstaubildungen kommen kann.

8.5.7 Verhalten bei konstanten Abfertigungszeiten

Bei Leistungsberechnungen zum Abfertigungssystem geht man häufig mit dem einfachen Ansatz der konstanten Abfertigungszeiten voran. Wie im Bericht bereits mehrmals erwähnt wurde, können die Abfertigungszeiten teilweise stark variieren, was in der Folge sogar einen Einfluss auf die effektive Abfertigungsleistung hat. Nachfolgend soll für eine gleich bleibende Abfertigungsleistung die Sensitivität des Ansatzes von konstanten und variablen Abfertigungszeiten aufgezeigt werden.

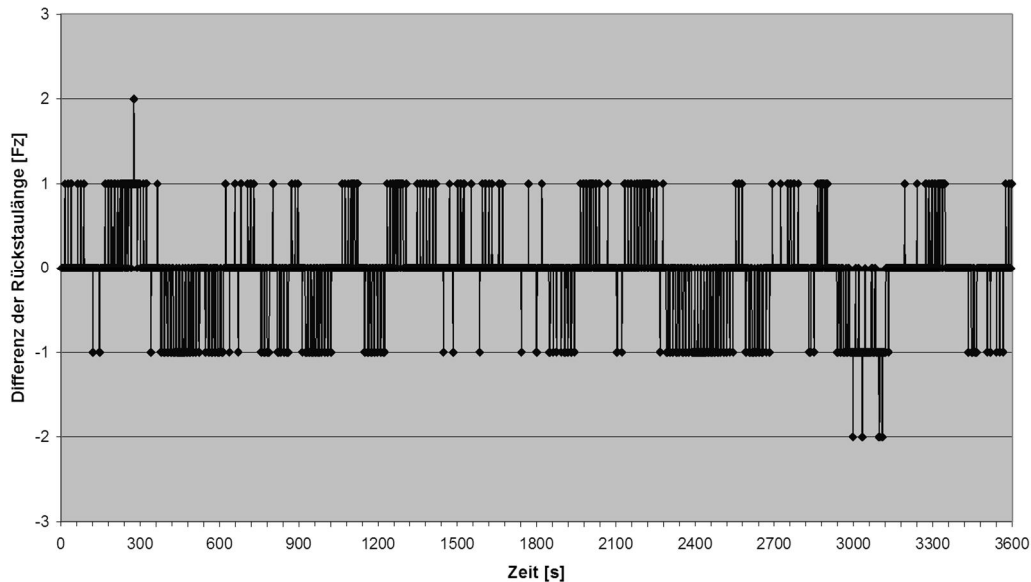


Abb. 8.112 Vergleich von Rückstaulängen bei konstanten / variablen Abfertigungszeiten

Die Verteilung der Abfertigungszeiten hat - so lange sie nicht leistungsrelevant wird – einen geringen bis keinen Einfluss auf die Länge des Rückstaus.

8.5.8 Verhalten bei mehrspurigen Ein-/ Ausfahrten

Bisher wurden die Abläufe an einspurigen Abfertigungsanlagen aufgezeigt wie auch die Leistungskennwerte von einspurigen Ein-/Ausfahrten bestimmt. In der Praxis kommen häufig mehrere parallel geschaltete Abfertigungsanlagen mit mehrspurigen Ein-/ Ausfahrten zum Einsatz. Hierzu ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Welche Verkehrsabläufe sind bei mehrspurigen Ein-/ Ausfahrten zu beobachten?
- Erhöht sich die Kapazität linear mit dem grösseren Abfertigungsangebot?
- Welche Stauraumlängen sind vorzuhalten?

Um Antworten auf diese Fragen zu finden, waren zunächst die Verkehrsabläufe näher untersucht worden.

Verkehrsablauf bei mehrspurigen Abfertigungsanlagen

Die Prozesse im näheren Bereich der Abfertigungsanlage unterscheiden sich nicht von jenen der einspurigen Ein-/ Ausfahrten. Bei jeder Durchfahrt fahren die Fahrzeuge vor und halten beim Bediengerät. Nach erfolgter Ticketentnahme oder –abgabe öffnet sich die Schranke und kann vom Fahrzeug passiert werden.

Die Abfertigungszeiten unterscheiden sich bei Abfertigungsanlagen gleichen Typs ebenfalls nicht, sofern die Geometrie der jeweiligen Anlagen den üblichen Normmassen entsprechen oder zumindest vergleichbar sind.

Anders sieht es bei der Verteilung der Fahrzeuge zu den verschiedenen Abfertigungsanlagen aus. Bei schwacher Last wählt der Fahrzeuglenker die Ein-/ Ausfahrtsspur noch vermehrt zufällig oder bei Kenntnis der örtlichen Lokalität nach Kriterien des Fahrziels (Verfügbarkeit freier Parkplätze, Zufahrt zu gewünschtem Parkdeck etc.) aus. Die Auswahlmöglichkeit spielt bei schwacher Zufahrtsbelastung noch keine Rolle. Mit zunehmender Belastung ändert sich die Situation, vorausgesetzt der Fahrzeuglenker kann sich vor der Trennung der beiden Zufahrtsspuren ein Bild über den Belastungszustand machen. Bei entsprechender Belastung der einen Einfahrtsspur kann der Fahrzeuglenker die Fahrspur zur geringer ausgelasteten Anlage wechseln. Es findet somit ein Ausgleich in der Beschickung des Gesamtsystems statt. Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die Rückstauentwicklung einer zweispurigen Abfertigungsanlage auf. In Abbildung 8.113 sind die Rückstauwerte von zwei getrennt betriebenen Abfertigungsanlagen (somit ohne Ausgleichswirkung) mit den jeweiligen Zufahrtsverteilungen dargestellt. Der maximale Rückstau der Anlage I (mit Zufahrtsverteilung 1) liegt bei 10 Fahrzeugen, jener der Anlage II (mit Zufahrtsverteilung 2) bei 9 Fahrzeugen⁷. Gut zu erkennen sind auch die über die Bemessungszeit unterschiedlichen Auslastungen. Während die Anlage I im Zeitbereich um 800s einen Rückstau von 10 Fahrzeugen aufweist, sind vor der Anlage II nur 2 Fahrzeuge zu beobachten. Ein umgekehrtes Bild folgt um die Sekunde 2400: Zu diesem Zeitpunkt liegt ein Rückstau von 9 Fahrzeugen bei der Anlage II vor, währenddessen die Anlage I nur mit 2-3 Fahrzeugen ausgelastet ist.

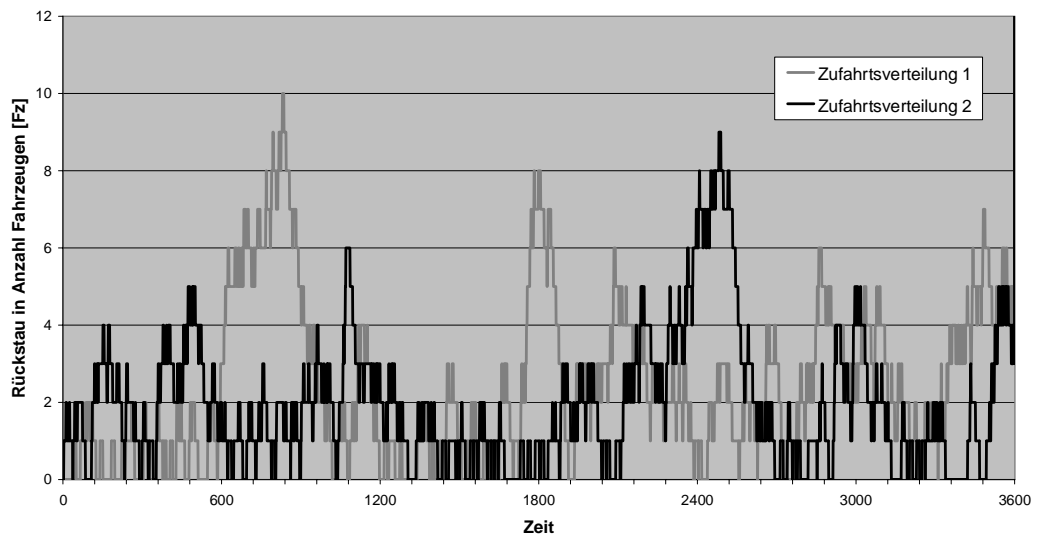


Abb. 8.113 Rückstauentwicklung einer zweispurigen Abfertigungsanlage mit getrennten Zufahrten und somit ohne Ausgleichsmöglichkeit (pro Abfertigungsanlage: $LF_{ab} = 300$ Fz/h, $Q_{zu} = 250$ Fz/h).

⁷ Je Fahrspur wurde eine Zufahrtsbelastung von 250 Fahrzeugen pro Stunde und eine Abfertigungsleistung von 300 Fahrzeugen pro Stunde simuliert.

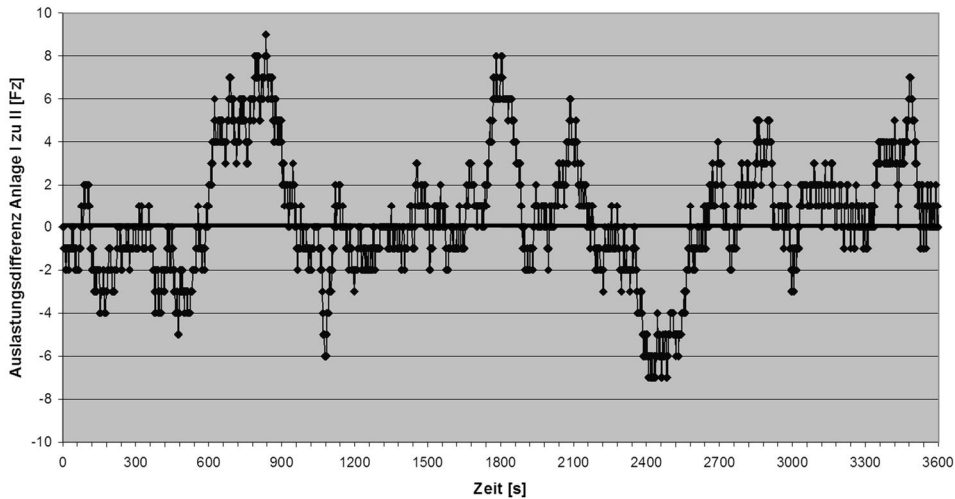


Abb. 8.114 Potential zur Schaffung eines Belastungsausgleichs: Auslastungsdifferenz der Anlage I zur Anlage II in Anzahl Fahrzeugen.

Findet hingegen ein Ausgleich zwischen den beiden Zufahrtsspuren statt, so resultieren aus der optimierten Beschickung deutlich geringere Rückstaulängen. In Abbildung 8.114 sind die Zufahrten so auf die beiden Abfertigungsanlagen verteilt worden, dass deren aktuelle Auslastung sich maximal um 1 Fahrzeug unterscheiden kann. Die maximale Rückstaulänge vermindert sich von 10 Fahrzeugen auf noch 6 Fahrzeuge (Abnahme um 40%), was vor allem auf das Brechen der vormaligen Spitzen zurückzuführen ist. Da die Stauräume nicht nach den absoluten Spitzen bemessen werden, ergibt sich eine Abnahme der erforderlichen Stauraumlänge zwischen 10% bis 20%.

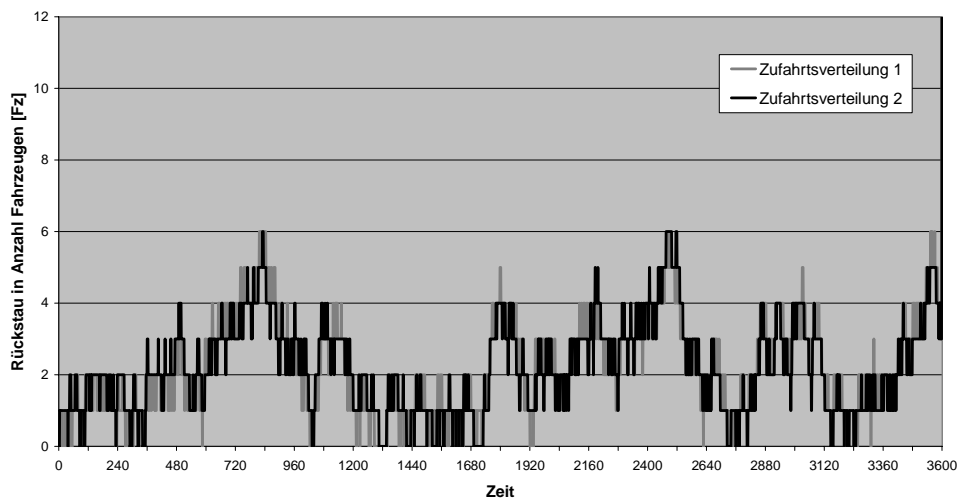


Abb. 8.115 Rückstauentwicklung einer zweispurigen Abfertigungsanlage mit Ausgleichsmöglichkeit (pro Abfertigungsanlage: $LF_{ab} = 300 \text{ Fz/h}$, $Q_{zu} = 250 \text{ Fz/h}$).

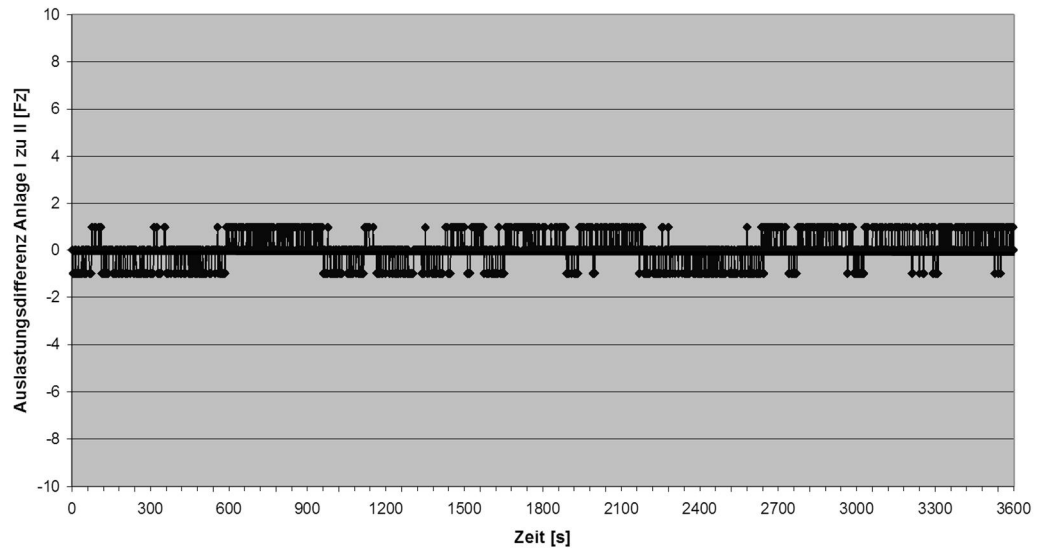


Abb. 8.116 Optimaler Belastungsausgleich der Zufahrtsspuren: Die Auslastungsdifferenz der Anlage I und II beträgt maximal 1 Fahrzeug

Fazit zur Stauraumlänge von mehrspurigen Abfertigungsanlagen

Kann ein Ausgleich in der Beschickung der einzelnen Abfertigungsanlagen stattfinden, so wirkt sich dies positiv auf die erforderlichen Stauraumlängen aus. Im Vergleich zu den einspurigen Anlagen sind bei mehrspurigen Abfertigungsanlagen mit Belastungsausgleich der Zufahrtsströme 10% bis 20% geringere Stauraumlängen vorzuhalten. Ein Ausgleich findet statt, sofern

- die Belastungszustände vom Fahrzeuglenker im Bereich der Zufahrt erkannt werden können und diesem die Möglichkeit zur freien Auswahl offen steht
- die Wahl der Abfertigungsgasse keinen Einfluss auf die weitere Routenwahl respektive das Fahrziel nimmt
- die zusätzlichen Fahrspuren über die erforderlichen Längen verfügen

8.6 Ergebnisse und Interpretation

8.6.1 Zusammenstellung der Ergebnisse

In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse aus den Simulationen zusammengestellt. Die Tabelle 8.117 zeigt die erforderlichen Stauraumlängen in Anzahl Fahrzeugen auf; die Tabelle 8.118 in Meter. Zudem werden die bisherigen Kennwerte aus der Norm SN 640 293 Parkieren Betrieb aufgeführt wie auch die Differenzen der jeweiligen Werte.

in Fahrzeuge		Mittlere Belastung																							
		100			150			200			250			300			350			400					
		neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ			
Mittlere Abfertigungsleistung [Fz/h]	400	1.3	< 3	-	1.7	< 3	-	2.8	2.6	0.2	3.8	3.6	0.2	5.9	4.9	1.0	9.4	8.0	1.4	28.0	25.0	3.0			
	375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.1	13.0	2.1						
	350	1.6	< 3	-	2.4	< 3	-	3.5	3.4	0.1	5.7	4.8	0.9	8.5	7.4	1.1	25.4	22.0	3.4						
	325	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.8	10.0	3.8									
	300	1.8	< 3	-	3.1	< 3	-	5.4	4.5	0.9	7.6	6.2	1.4	24.5	20.0	4.5									
	275	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.6	10	1.6												
	250	2.3	< 3	-	4.3	-	-	7.3	6.3	1.0	22.4	20.0	2.4												
	225	-	-	-	-	-	-	11.8	10.0	1.8															
	200	3.2	-	-	6.8	-	-	22.9	20.0	2.9															
	175	-	-	-	10.4	-	-																		
150	4.9	-	-	18.4	-	-																			

Abb. 8.117 Zusammenstellung der Rückstaulängen in Anzahl Fahrzeugen

in Meter		Mittlere Belastung																							
		100			150			200			250			300			350			400					
		neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ	neu	bisher	Δ			
Mittlere Abfertigungsleistung [Fz/h]	400	7	-	-	9	-	-	14	13	1	19	18	1	30	25	5	47	40	7	140	125	15			
	375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76	65	11						
	350	8	-	-	12	-	-	18	17	1	29	24	5	43	37	6	127	110	17						
	325	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69	50	19									
	300	9	-	-	16	-	-	27	23	5	38	31	7	123	100	23									
	275	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	50	8												
	250	12	-	-	22	-	-	37	32	5	112	100	12												
	225	-	-	-	-	-	-	59	50	9															
	200	16	-	-	34	-	-	115	100	15															
	175	-	-	-	52	-	-																		
150	25	-	-	92	-	-																			

Abb. 8.118 Zusammenstellung der Rückstaulängen in Meter

8.6.2 Interpretation der Ergebnisse

Die aus Simulationen und Berechnungen ermittelten Werte unterscheiden sich nur geringfügig von den bis anhin in der Norm aufgeführten Kennzahlen. Bei den geringen Auslastungswerten können die Ergebnisse nicht verglichen werden, da die bisherige Norm keine Angaben zu erforderlichen Stauraumlängen kleiner 3 Fahrzeuge macht. Differenzen können erst bei höheren Auslastungsgraden festgestellt werden. Je näher im Bereich der Leistungsgrenze, desto grösser werden die Abweichungen zur bestehenden Norm. Dies dürfte auf den Berechnungsansatz mit den berücksichtigten Schwankungen der Abfertigungsleistungen sowie den Zufahrtsintensitäten zurückzuführen sein. Bei einem Auslastungsgrad um 80% erhöht sich der erforderliche Stauraum um 1 bis 2 Fahrzeuge. Bei Auslastungswerten von 90% bis 100% beträgt die Zunahme zwischen 2 bis 5 Fahrzeuge, was entsprechend im Bemessungsdiagramm aufgenommen wurde. Obschon die erforderlichen Stauraumlängen im zuletzt genannten Bereich aufgeführt werden, sollte keine Abfertigungsanlagen danach dimensioniert werden. Aus diesem Grund ist der Wertebereich im neuen Bemessungsdiagramm entsprechend farblich hinterlegt.

8.6.3 Bemessungsdiagramm

Das neue Bemessungsdiagramm orientiert sich an der Abbildung 2 (Staulängen) der bisherigen Norm SN 640 293 Parkieren – Betrieb. Aufgrund der geringeren Abfertigungsleistungen wurde der Ausschnitt des Diagramms entsprechend angepasst. Neu werden nebst der erforderlichen Stauräumlänge in Meter auch die Anzahl Fahrzeuge angegeben. Pro Fahrzeug geht man von einem erforderlichen Stauraum von $5m^8$ aus, was durch Beobachtungen bestätigt werden konnte.

Dimensionierung des Stauraums

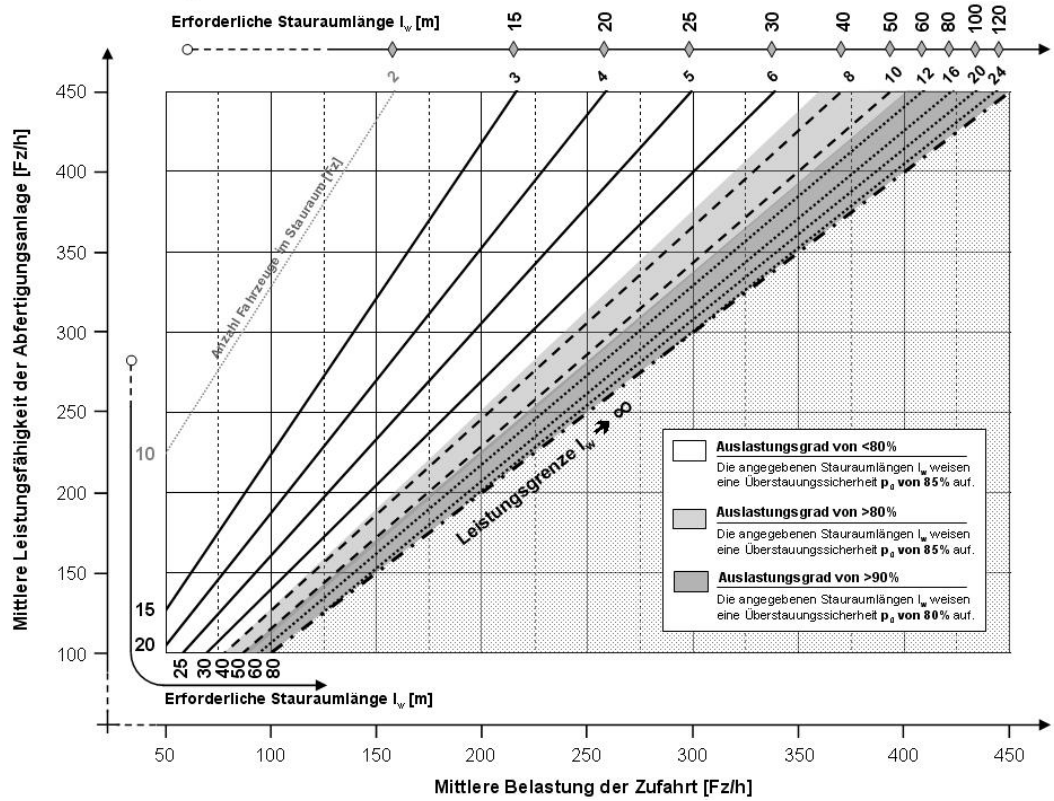


Abb. 8.119 Neues Bemessungsdiagramm zur Dimensionierung erforderlicher Stauräume

⁸ Durchschnittlicher Fahrzeugabstand von 5m an Erhebungen beobachtet

Anhänge

I	Normvorschlag SN 640 284 Parkieren – Leistungsfähigkeit von Parkierungselementen	106
---	---	------------

I Normvorschlag SN 640 284 Parkieren – Leistungsfähigkeit von Parkierungselementen

Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera
Swiss Standard

SN

640 284

Entwurf, 30.05.2010

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG

SNV

NORME ENREGISTRÉE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Parkieren

Leistungsfähigkeit von Parkierungsanlagen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A Allgemeines	3
1 Geltungsbereich	3
2 Gegenstand	3
3 Zweck	3
4 Begriffe	3
4.1 Parkierungsanlage	3
4.2 Abfertigungsanlage	3
4.3 Fahrgasse	3
4.4 Fahrweg	3
4.5 Ein- und Ausfahrt	3
4.6 Rampe	3
4.7 Parkfeld	3
4.8 Kassenautomat	4
4.9 Stauraum	4
4.10 Massgebende Verkehrsbelastung der Parkierungsanlage	4
4.11 Auslastungsgrad der Abfertigungsanlage	4
4.12 Zulässige zeitliche Überstauung	4
4.13 Überstauungssicherheit	4
B Abfertigung und Kontrolle	5
5 Abfertigungssysteme von Parkierungsanlagen	5
5.1 Kontrollierte Ein- und Ausfahrt	5
5.2 Kontrollierte Ein- und freie Ausfahrt	5
5.3 Freie Ein- und kontrollierte Ausfahrt	5
5.4 Freie Ein- und Ausfahrt	5
6 Abfertigungsanlagen an Ein- / Ausfahrten	5
6.1 Allgemeines	5
6.2 Grundsätze	6
6.3 Kontrollmedien	6
6.4 Leistungsfähigkeit	7

Stationnement

Capacité des installations de stationnement

TABLE DES MATIÈRES

	Page
A Généralités	3
1 Domaine d'application	3
2 Objet	3
3 But	3
4 Définitions	3
4.1 Installation de stationnement	3
4.2 Installation de contrôle	3
4.3 Allée de circulation	3
4.4 Voie de liaison	3
4.5 Entrée et sortie	3
4.6 Rampe	3
4.7 Case de stationnement	3
4.8 Caisse automatique	4
4.9 Zone de stockage	4
4.10 Charge de l'installation de stationnement	4
4.11 Taux d'utilisation de l'installation de contrôle	4
4.12 Surcharge temporaire admissible du trafic	4
4.13 Sécurité de surcharge du trafic [%]	4
B Enregistrement et contrôles	5
5 Systèmes de contrôle d'installations de stationnement	5
5.1 Contrôle à l'entrée et à la sortie	5
5.2 Contrôle à l'entrée et sortie libre	5
5.3 Entrée libre et sortie contrôlée	5
5.4 Entrée et sortie libre	5
6 Installations de contrôle à l'entrée et à la sortie	5
6.1 Généralités	5
6.2 Principes	6
6.3 Médias de contrôle	6
6.4 Capacité	7

Herausgeber:
Schweizerischer Verband der
Strassen- und Verkehrsfachleute VSS
Sihlquai 255, 8005 Zürich
Bearbeitung:
VSS-Fachkommission 1, Verkehrsplanung
VSS-Expertenkommission 1.01, Verkehrsplanerische Grundlagen
und Parkierung
Genehmigt: xx.yy.2010
Ersetzt: SN 640 293 Parkieren - Betrieb
Gültig: ab xx.yy.2010

Editeur:
Association suisse des professionnels
de la route et des transports VSS
Sihlquai 255, 8005 Zürich
Elaboration:
Commission technique VSS 1, Planification de la circulation
Commission technique VSS 1.01, Mobilité et stationnement
Adoptée: xx.yy.2010
Remplace: SN 640 293 Parcage - Exploitation
Valable: dès xx.yy.2010

© 2010, VSS Zürich

C	Interne Verkehrswege	7	C	Voies de circulation internes	7
7	<i>Fahrgassen</i>	7	7	<i>Allées de circulation</i>	7
	7.1 Funktion	7		7.1 Fonction	7
	7.2 Geometrie	7		7.2 Géométrie	7
	7.3 Leistungsfähigkeit	7		7.3 Capacité	7
8	<i>Fahrwege und Rampen</i>	8	8	<i>Voies de liaison et rampes</i>	8
	8.1 Leistungsfähigkeit	8		8.1 Capacité	8
D	Stauraum	8	D	Zone de stockage	8
9	<i>Stauraum vor Abfertigungsanlagen</i>	8	9	<i>Zone de stockage avant les installations de contrôle</i>	8
10	<i>Stauraumbemessung</i>	9	10	<i>Dimensionnement de la zone de stockage</i>	9
E	Anwendungsbeispiel	11	E	Exemple	11
F	Literaturverzeichnis	12	F	Bibliographie	12

A Allgemeines**1 Geltungsbereich**

Diese Norm gilt für Anlagen zum Parkieren von Personewagen. Sie ist dort anzuwenden, wo die Fahrzeuge durch den Fahrer selber oder durch einen Dritten parkiert werden.

2 Gegenstand

Die Norm enthält Richtwerte und Hinweise für die Bemessung einzelner Elemente von Parkierungsanlagen wie auch Angaben zur Abschätzung der betrieblichen Auswirkungen innerhalb und ausserhalb von Parkierungsanlagen.

3 Zweck

Die Norm ist eine Projektierungshilfe zur Bemessung einzelner Elemente von Parkierungsanlagen sowie zur Wahl der Ausrüstung.

4 Begriffe**4.1 Parkierungsanlage**

Eine Parkierungsanlage ist eine Einrichtung, die dem Parkieren von Fahrzeugen des Individualverkehrs dient. Parkierungsanlagen sind Parkhäuser, Einzelgaragen, Parkplätze und Parkfelder entlang von Strassen.

4.2 Abfertigungsanlage

Als Abfertigungsanlage wird die technische Einrichtung zur Kontrolle der ein- und ausfahrenden Fahrzeuge bezeichnet. Sie kann auch der Erhebung von Parkgebühren dienen. An Abfertigungsanlagen wird die Zulassung zur Durchfahrt geprüft sowie die Ein- und Ausfahrt mittels Schranken frei gegeben.

4.3 Fahrgasse

Eine Fahrgasse ist eine Verkehrsfläche neben den Parkfeldern für die Zu- und Wegfahrt sowie zum Manövrieren. Die Fahrgasse wird in der Regel auch von Fussgängern benützt.

4.4 Fahrweg

Ein Fahrweg ist eine Verkehrsfläche für Motorfahrzeuge ohne angrenzende Parkfelder. Die Fussgänger benützen in der Regel nicht die Fahrwege.

4.5 Ein- und Ausfahrt

Einfahrt und Ausfahrt sind die Fahrwegabschnitte am Rand der Parkierungsanlage, die normalerweise mit Kontrolleinrichtungen und Schranken ausgerüstet sind.

4.6 Rampe

Eine Rampe ist ein Fahrweg zur Verbindung zwischen zwei Geschossen.

4.7 Parkfeld

Ein Parkfeld ist eine abgegrenzte Fläche, auf der ein Fahrzeug parkiert werden darf.

A Généralités**1 Domaine d'application**

Cette norme concerne les installations de stationnement pour voitures particulières. Elle s'applique lorsque ces voitures sont garées par leur conducteur ou par un tiers.

2 Objet

La norme contient des données et valeurs indicatives pour le dimensionnement des différents éléments d'installations de stationnement et pour l'évaluation des effets sur l'exploitation à l'intérieur et à l'extérieur des parkings.

3 But

La norme est un outil de conception pour le dimensionnement des différents éléments d'une installation de stationnement et le choix de l'équipement.

4 Définitions**4.1 Installation de stationnement**

Une installation de stationnement est un ouvrage destiné au stationnement de véhicules de transports individuels, tels que parkings et garages individuels, aires de stationnement et cases de stationnement le long des routes.

4.2 Installation de contrôle

Une installation de contrôle est un équipement permettant l'enregistrement des véhicules entrant et sortant. Elle peut aussi permettre de prélever la taxe de stationnement. L'autorisation de passage y est contrôlée et les entrées/sorties sont réglées par des barrières.

4.3 Allée de circulation

Une allée de circulation est une surface de circulation jouxtant les cases de stationnement permettant d'y entrer, d'en sortir et de manoeuvrer. En règle générale, les piétons utilisent aussi les allées de circulation.

4.4 Voie de liaison

Une voie de liaison est une surface de circulation pour véhicules à moteur sans cases de stationnement avoisinantes. En règle générale, les piétons n'utilisent pas les voies de liaison.

4.5 Entrée et sortie

Une entrée ou une sortie est une partie de voie de liaison, en limite de l'installation de stationnement, munie normalement d'équipements de contrôle et de barrières.

4.6 Rampe

Une rampe est une voie de liaison entre deux niveaux.

4.7 Case de stationnement

Une case de stationnement est une surface délimitée sur laquelle un véhicule est autorisé à stationner.

4.8 Kassenautomat

Ein Kassenautomat ist eine technische Einrichtung, welche vollautomatisch die Entrichtung der Parkgebühr bearbeitet.

4.9 Stauraum

Der Stauraum ist die Fläche für wartende Fahrzeuge.

4.10 Massgebende Verkehrsbelastung der Parkierungsanlage

Als massgebende Verkehrsbelastung der Parkierungsanlage wird die Fahrzeugmenge bezeichnet, auf welche die Parkierungsanlage ausgelegt und dimensioniert werden soll. In der Regel werden Spitzenstundenwerte [Fz/h] angewendet.

4.11 Auslastungsgrad der Abfertigungsanlage

Der Auslastungsgrad der Abfertigungsanlage ergibt sich aus dem Anteil [%] der massgebenden Verkehrsbelastung der Zufahrt an der Abfertigungsleistung. Im Diagramm zur Bemessung der Stauräume (Abbildung 1) wird der Auslastungsgrad über die gesamte Bemessungsstunde angegeben. Während dieser Zeitspanne kann der Auslastungsgrad aufgrund der abweichenden Zufahrtsintensitäten variieren.

4.12 Zulässige zeitliche Überstauung

Als zulässige zeitliche Überstauung wird die Zeitdauer in Minuten bezeichnet, während welcher der Stauraum maximal überstaut werden darf. Dem Diagramm zur Bemessung der Stauräume (Abbildung 1) wurde eine zulässige zeitliche Überstauung von maximal 3 Minuten zugrunde gelegt.

4.13 Überstauungssicherheit

Die Überstauungssicherheit gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit [%] der dimensionierte Stauraum bei einer zulässigen zeitlichen Überstauung von maximal 3 Minuten für den Verkehrsablauf an Ein- und Ausfahrten ausreicht.

4.8 Caisse automatique

Une caisse automatique est une installation technique qui traite automatiquement le paiement de la taxe de stationnement.

4.9 Zone de stockage

La zone de stockage est une zone réservée aux véhicules en attente.

4.10 Charge de l'installation de stationnement

La charge de trafic déterminante de l'installation de stationnement est la quantité de véhicules considérée pour la conception et le dimensionnement de l'installation de stationnement. En règle générale, on utilise des valeurs d'heures de pointe [voit./h].

4.11 Taux d'utilisation de l'installation de contrôle

Le taux d'utilisation de l'installation de contrôle est le rapport [%] entre la charge de trafic déterminante de l'accès et la capacité de l'installation de contrôle. Dans le diagramme de dimensionnement de la zone de stockage (Figure 1), le taux d'utilisation est donné pour une heure de mesure. Pendant cette période, le taux d'utilisation peut augmenter en raison de la différence d'intensité des entrées.

4.12 Surcharge temporaire admissible du trafic

La surcharge temporaire admissible du trafic correspond à la durée pendant laquelle la zone de stockage peut être surchargée au maximum. L'abaque permettant le dimensionnement de la zone de stockage (Figure 1) est fondé sur une surcharge temporaire admissible de 3 minutes maximum.

4.13 Sécurité de surcharge du trafic [%]

La sécurité de surcharge temporaire du trafic donne la probabilité [%] avec laquelle la zone de stockage dimensionnée suffit à la résorption de la circulation aux entrées et sorties lors d'une surcharge temporaire du trafic de 3 minutes au maximum.

B Abfertigung und Kontrolle**5 Abfertigungssysteme von Parkierungsanlagen**

Nach der Art der Ein- und Ausfahrtskontrollen lassen sich vier verschiedene Abfertigungssysteme unterscheiden. Es sind dies Anlagen mit

- kontrollierten Ein- und Ausfahrten
- kontrollierten Ein- und freien Ausfahrten
- freien Ein- und kontrollierten Ausfahrten
- freien Ein- und Ausfahrten

5.1 Kontrollierte Ein- und Ausfahrt

Systeme mit kontrollierter Ein- und Ausfahrt stellen die häufigste Form von Abfertigungsanlagen bei Parkgaragen dar. An Abfertigungsanlagen wird die Ein- und Ausfahrt kontrolliert und die Durchfahrtserlaubnis mittels Schranken gewährt.

5.2 Kontrollierte Ein- und freie Ausfahrt

Abfertigungssysteme mit kontrollierter Ein- und freier Ausfahrt finden dort ihre Anwendung, wo das Parkieren einer bestimmten Nutzerkategorie reguliert und kontrolliert werden soll oder ein pauschales Parkentgelt erhoben wird. Dieses Abfertigungssystem wird vor allem bei Veranstaltungs- und Freizeitparkflächen vorgesehen. Die Zugangskontrolle erfolgt oft mittels Personaleinsatz. Der Nutzer hat bei der Einfahrt aufgrund der unbekannteren Parkierungsdauer ein pauschales Parkentgelt zu entrichten.

5.3 Freie Ein- und kontrollierte Ausfahrt

Ein System mit freier Einfahrt und kontrollierter Ausfahrt findet kaum Anwendung.

5.4 Freie Ein- und Ausfahrt

Parkierungsanlagen mit freien Ein- und Ausfahrten finden sich vor allem im öffentlichen Strassenraum. Die Bewirtschaftung erfolgt durch den Einsatz von Parkscheinautomaten oder zentralen Parkuhren.

6 Abfertigungsanlagen an Ein- / Ausfahrten**6.1 Allgemeines**

Die Leistungsfähigkeit von Abfertigungsanlagen wird massgeblich durch die beiden Faktoren Technik und Mensch bestimmt. Unterschiede auf technischer Seite ergeben sich durch den Prüf- und Kontrollprozess der zum Einsatz kommenden Kontrollmedien. Im Vergleich zur technisch bedingten Abfertigungszeit bestimmt vor allem die vom Anwender gebrauchte Bedienzeit das Leistungsvermögen des Gesamtsystems. Der Faktor Mensch trägt mit seinem Fahrmanöver wie auch seinem Verhalten während des Bedienprozesses massgeblich zur Streuung der Abfertigungszeiten und somit zu den Schwankungen der Leistungsfähigkeiten bei.

Die Dimensionierung der Anlagen und Fahrwege wie auch die Auswahl und Gestaltung der Kontrollmedien haben so zu erfolgen, dass die Bedienzeit möglichst gering wird. Die Kontrolleinrichtungen an Einfahrt und Ausfahrt sind nach

B Enregistrement et contrôles**5 Systèmes de contrôle d'installations de stationnement**

Selon le type de contrôle à l'entrée et à la sortie, quatre systèmes de contrôle d'installations de stationnement peuvent être considérés:

- contrôle à l'entrée et à la sortie
- contrôle à l'entrée et sortie libre
- entrée et sortie libres
- entrée libre et contrôle à la sortie

5.1 Contrôle à l'entrée et à la sortie

Les systèmes avec entrée et sortie contrôlées sont les types les plus fréquents d'installations de contrôle au parking. L'entrée et la sortie sont gérées par les installations de contrôle et le passage est libéré par la levée d'une barrière.

5.2 Contrôle à l'entrée et sortie libre

Le système avec contrôle à l'entrée et sortie libre est utilisé là où une catégorie d'utilisateurs définie doit être contrôlée et régulé ou lorsque la taxe de stationnement prélevée est forfaitaire. Ce système est généralement utilisé lors de manifestations ou pour les infrastructures de loisirs. Le contrôle de l'accès se fait souvent par l'engagement de personnel. Ne connaissant pas à l'avance la durée du stationnement, l'utilisateur verse à l'entrée une taxe de stationnement forfaitaire.

5.3 Entrée libre et sortie contrôlée

Un système avec entrée libre et sortie contrôlée ne trouve guère de cas d'application.

5.4 Entrée et sortie libre

Les installations de stationnement avec entrée et sortie libres se trouvent généralement dans les espaces publics. Leur gestion est assurée à l'aide d'horodateurs ou de parcomètres collectifs.

6 Installations de contrôle à l'entrée et à la sortie**6.1 Généralités**

La capacité des installations de contrôle est déterminée principalement par les deux facteurs technique et humain. Les différences techniques sont dues aux processus d'examen et de contrôle variant selon le média utilisé. La durée de manipulation du système par l'utilisateur détermine principalement la capacité globale du système et non pas l'aspect technique de l'installation. Le facteur humain, par les manœuvres de conduite et le comportement dans l'utilisation du système, contribue de manière déterminante à la dispersion des durées de manipulation et ainsi à la variation de la capacité des installations.

Le dimensionnement des installations et des voies de liaison ainsi que le choix et la conception des médias de contrôle doivent viser un temps d'utilisation minimal. Les dispositifs de contrôle à l'entrée et à la sortie sont à amé-

den Vorgaben der SN 640 291a „Parkieren – Anordnung und Geometrie der Parkierungsanlagen“ [4] anzuordnen.

6.2 Grundsätze

Die Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlagen sollte 20% grösser sein als die massgebende Zufahrtsbelastung.

Auslastungsgrade der Abfertigungsanlage von über 80% sind möglichst zu vermeiden, da infolge der zeitlichen Variation der Zufahrtsintensitäten das Risiko von Rückstaubildungen stark ansteigt und überdurchschnittlich lange Stauräume erforderlich werden.

Parkierungsanlagen von mehr als 400 Parkfelder sollen an mehrspurige Ein-/Ausfahrten angeschlossen werden, ab 600 Parkfelder sind mehrspurige Ein-/Ausfahrten zwingend.

6.3 Kontrollmedien

Bei Abfertigungsanlagen kommen Datenträger als Kontrollmedien zum Einsatz. Diese unterscheiden sich nach Art und Form, Material, Handhabung sowie der Datenverarbeitung. Üblich sind:

- Magnetstreifentickets
- Chipkarten
- Barcodekarten
- Lochkarten
- Parkchips / Coins
- Kreditkarten (an Ein-/Ausfahrt oder an Kasse)
- Debitkarten (nur an Kassen)
- Magnetschlüssel

Aus der Datenverarbeitung wie auch der Handhabung der Karten resultieren unterschiedliche Bedienzeiten, was sich insgesamt auf die Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage auswirkt. Anlagen, welche den Kontrollmedien an der Einfahrt Informationen wie Datum und Einfahrtszeit direkt mitgeben, bedürfen einer längeren Bearbeitungszeit als solche, welche über andere Erkennungsmerkmale verfügen. Je nach eingesetzter Technologie ergeben sich an der Ausfahrt aufgrund des Prüf- und Kontrollprozesses längere Bedienzeiten. Im Kapitel 6.4 sind die Leistungswerte der gängigsten Kontrollmedien sowohl an der Einfahrt als auch an der Ausfahrt aufgeführt.

Kontrolleinrichtungen für Magnetstreifenkarten in Seitenlage verfügen über Lesegeräte, welche optional auch Kreditkarten lesen können. Um lange Bedienzeiten zu vermeiden, ist der Aufdruck der Einschubrichtung auf Magnetstreifenkarten in Seitenlage zu empfehlen.

Die Kontrolle mittels Kreditkarten (an Ein-/Ausfahrt) kommt zurzeit nur in Verbindung mit anderen Systemen zum Einsatz. Aufgrund der etwas längeren Bedienzeiten ergeben sich beim häufigen Gebrauch von Kreditkarten geringere Leistungswerte. Zu bemerken ist, dass der Prozess zur Prüfung der Kreditkarte einen wichtigen Zeitfaktor einnimmt. So gibt es Systeme, welche direkt mit einem Rechencenter einer Kreditkartenfirma verbunden sind und die Karten in Echtzeit auf deren Gültigkeit prüfen. Solche Verbindungen sind sehr kostenintensiv und kommen daher mehrheitlich bei Parkierungsanlagen mit hohen Rechnungssummen wie beispielsweise beim mehrtägigen Parkieren an Flughäfen zum Einsatz. Andere Anlagen wiederum registrieren die Daten der Kreditkarte, was eine raschere Bearbeitung erlaubt.

nager d'après les consignes de la norme SN 640 291a "Stationnement - Disposition et géométrie des installations de stationnement".[4]

6.2 Principes

La capacité des installations de contrôle doit être supérieure d'environ 20% à la charge de trafic déterminante y accédant. Un taux d'utilisation des installations de contrôle supérieur à 80% est à éviter, car en raison des fortes charges de trafic y accédant, le risque de formation de files d'attente augmente fortement et des zones de stockage nettement plus longues deviennent nécessaires.

Les installations de stationnement de plus de 400 cases devraient être desservies par des entrées/sorties à plusieurs voies. Au delà de 600 cases des entrées/sorties à voies multiples sont indispensables.

6.3 Médias de contrôle

Dans les installations de contrôle, on recourt à divers supports de données comme média de contrôle. Les supports utilisés se différencient par leur type et leur forme, le matériel utilisé, leur manipulation et le mode de traitement des données. On recourt usuellement à des :

- cartes à bande magnétique
- cartes à puce
- cartes à code-barre
- cartes perforées
- jetons
- cartes de crédit (aux entrées et sorties ou à la caisse)
- cartes de débit (uniquement à la caisse)
- clés magnétiques

Le traitement des données et la manipulation des cartes entraînent des durées d'utilisation variables influençant la capacité globale de l'installation de contrôle. Les installations transmettant directement au média de contrôle à l'entrée des informations telles que la date et l'heure d'arrivée nécessitent plus de temps que les installations de contrôle disposant d'autres moyens d'identification. Selon la technologie utilisée, le processus d'examen et de contrôle à la sortie entraîne des durées d'utilisation plus ou moins longues. La valeur de la capacité des installations de contrôle à l'entrée comme à la sortie figurent dans le chapitre 6.4.

Les installations équipées d'un dispositif de lecture de cartes à bande magnétiques latérales peuvent en option lire les cartes de crédit. Pour éviter des temps d'utilisation trop longs, il est conseillé d'imprimer le sens d'insertion sur ce type de cartes.

Le contrôle par carte de crédit (à l'entrée et à la sortie) ne s'emploie actuellement que combiné avec d'autres systèmes. En raison d'un temps d'utilisation plus long (processus d'examen), l'utilisation fréquente de la carte de crédit diminue sensiblement la capacité du système de contrôle. Ainsi il existe aussi des systèmes de contrôle directement connectés au centre informatique d'une entreprise de cartes de crédit qui contrôle directement la validité des cartes. Ces liaisons très onéreuses sont principalement utilisées dans des installations de stationnement avec des montants de facturation élevés comme les parkings de longue durée des aéroports. D'autres installations encore enregistrent les données de la carte de crédit permettant un traitement plus rapide.

6.4 Leistungsfähigkeit

Kontrollmedium:	Mittlere Leistungsfähigkeit
Magnetstreifenkarten	Einfahrt: 325 Fz/h Ausfahrt: 350 Fz/h
Lochkartentickets	Einfahrt: 320 Fz/h Ausfahrt: 320 Fz/h
Barcodetickets	Einfahrt: 300 Fz/h Ausfahrt: 400 Fz/h
Kreditkarten (Echtzeitprüfung)	Einfahrt: 180 Fz/h Ausfahrt: 210 Fz/h
Handkassierung, bezahlen eines variablen Betrages aus dem Fahrzeug	Einfahrt: 200 Fz/h
Handkassierung, bezahlen eines Pauschalbetrages aus dem Fahrzeug	Einfahrt: 280 Fz/h

C Interne Verkehrswege

7 Fahrgassen

7.1 Funktion

Fahrgassen dienen hauptsächlich zur Erschließung der Parkfelder für Fahrzeuge und als Bindeglieder zu den Fußgängereinrichtungen.

Aufgrund der im Vergleich zu Fahrwegen geringeren Leistungsfähigkeit der Fahrgassen ist in der Regel das Durchleiten von Ein- oder Ausfahrtsströmen zu vermeiden. Ist dies nicht möglich, sollte eine ausreichende Kapazität der Fahrgassen nachgewiesen werden.

7.2 Geometrie

Fahrgassen im Zweirichtungsverkehr können einseitig (als Sackgasse) oder über beide Enden erschlossen sein. Bei Sackgassen ist der untere Leistungswert der in Tabelle 1 angegebenen Bandbreite anzuwenden.

Fahrgassen:	
- Im Zweirichtungsverkehr	150...200 Fz/h
- Im Einrichtungsverkehr	300...400 Fz/h

Tab. 1

Mittlere Leistungsfähigkeit von Fahrgassen

7.3 Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit von Fahrgassen kann nicht eindeutig angegeben werden, da diese mit der Anzahl Fahrmanöver bei der Parkierungstätigkeit in Zusammenhang steht und somit durch die Nachfrage mitbestimmt wird.

Die Kapazität einer Fahrgasse ohne Parkierungsvorgänge liegt im Einrichtungsverkehr bei 700 Fahrzeugen pro Stunde respektive 500 Fahrzeugen pro Stunde bei Gegenverkehr. Mit zunehmender Parkierungsaktivität (Fahrmanöver beim Ein-/Ausparkieren) wird der Hauptstrom in der Fahrgasse häufiger unterbrochen, womit dessen Leistungsfähigkeit sinkt.

Die in der Tabelle 1 aufgeführten Leistungswerte gelten für Parkierungsanlagen mit Komfortstufe B (öffentlich zugängliche Anlagen). Bei Anlagen in Komfortstufe A und C ist von längeren Manövrierzeiten auszugehen, so dass die Leistungsfähigkeit etwas geringer ist.

6.4 Capacité

Média de contrôle	Capacité moyenne
Cartes à bande magnétique	entrée: 325 voit./h sortie: 350 voit./h
Cartes perforées	entrée: 320 voit./h sortie: 320 voit./h
Tickets à code-barre	entrée: 300 voit./h sortie: 400 voit./h
Cartes de crédit (contrôle en temps réel)	entrée: 180 voit./h sortie: 210 voit./h
Paiement d'un montant variable depuis le véhicule	entrée: 200 voit./h
Paiement d'un montant forfaitaire depuis le véhicule	entrée: 280 voit./h

C Voies de circulation internes

7 Allées de circulation

7.1 Fonction

Les allées de circulation permettent principalement l'accès aux cases de stationnement et servent de lien vers les infrastructures piétonnes.

La capacité des allées de circulation étant plus basse que celle des voies de liaison, il est préférable d'éviter d'y faire passer les flux de véhicules entrant et sortant. Si ce n'est pas possible, une capacité suffisante de ces allées doit être démontrée.

7.2 Géométrie

Les allées à double sens de circulation peuvent être accessibles par un seul côté ou par les deux côtés. Dans le cas d'une impasse, la capacité est donnée par la valeur la plus basse de la fourchette du tableau 2.

Allées de circulation:	
- à double sens	150...200 voit./h
- à sens unique	300...400 voit./h

Tab. 1

Capacité moyenne des allées de circulation

7.3 Capacité

La capacité des allées de circulation étant liée au nombre de manœuvres nécessaires au parage et à l'importance de la demande, elle ne peut pas être donnée explicitement.

La capacité d'une allée de circulation, sans manœuvre de stationnement, s'élève à 700 véhicules par heure (sens unique) et à 500 véhicules par heure (circulation bidirectionnelle). Toute manœuvre liée au parage interrompt le flux de trafic sur l'allée de circulation pendant un court instant entraînant la baisse de sa capacité.

Les capacités spécifiées dans le tableau 1 sont valables pour les installations de stationnement avec un niveau de confort B (installations accessibles au public). Des durées de manœuvre plus longues sont à prévoir pour les installations avec un niveau de confort A ou C impliquant une capacité réduite.

8 Fahrwege und Rampen

8.1 Leistungsfähigkeit

Fahrwege:	
- Mit Einmündungen	600...900 Fz/h
- Ohne Einmündungen	1'000...1'200 Fz/h
- Mit Kurven ($R_a < 20\text{m}$)	500...800 Fz/h
Rampen:	
- Gerade	600...800 Fz/h
- $R_a \geq 20\text{m}$	1'000...1'200 Fz/h
- $R_a < 20\text{m}$	500...800 Fz/h

Tab. 2
Mittlere Leistungsfähigkeit von Fahrwegen und Rampen

D Stauraum

9 Stauraum vor Abfertigungsanlagen

Schwankungen der Intensität des Zustromes können zu zeitweiligen Überlastungen der Einfahrtskontrollen und zur Bildung von Staukolonnen führen. Um Störungen im Verkehrsfluss auf dem übergeordneten Netz zu vermeiden, ist üblicherweise vor der Einfahrt auf privatem Grund ein Stauraum vorzusehen, dessen Länge mittels des Diagramms in Abbildung 1 abgeschätzt werden kann.

Ebenso empfiehlt es sich zwischen Ausfahrtskontrolle und Einmündung in die öffentliche Strasse einen genügenden Stauraum auf privatem Grund einzuplanen, damit die dort wartenden Fahrzeuge die Leistungsfähigkeit der Ausfahrt weniger beeinträchtigen.

Idealerweise ist eine frühzeitige „Frei“-/„Besetzt“-Anzeige, bei mehreren Anlagen ein Parkleitsystem vorzusehen. Besondere lokale Umstände (wie beispielsweise Warteschlangen vor besetzten Parkierungsanlagen) sind zusätzlich angemessen mit zu berücksichtigen.

8 Voies de liaison et rampes

8.1 Capacité

Voies de liaison:	
- avec embranchement	600...900 voit./h
- sans embranchement	1'000...1'200 voit./h
- en courbe ($R_a < 20\text{m}$)	500...800 voit./h
Rampes:	
- en alignement	600...800 voit./h
- $R_a \geq 20\text{m}$	1'000...1'200 voit./h
- $R_a < 20\text{m}$	500...800 voit./h

Tab. 2
Capacité moyenne des voies d'accès et des rampes

D Zone de stockage

9 Zone de stockage avant les installations de contrôle

Les variations de la charge de trafic peuvent conduire à une surcharge temporaire des contrôles à l'entrée et à la formation de files d'attente. Pour éviter toute perturbation de la circulation sur le réseau routier public, une zone de stockage, dont la longueur peut être estimée à l'aide de l'abaque de la figure 1, est à prévoir sur la parcelle privée, avant l'entrée.

Il est également recommandé de prévoir un espace suffisant entre le contrôle de sortie et l'insertion dans la circulation afin que les véhicules en attente ne réduisent pas la capacité de la sortie.

Idéalement, une indication avancée d'occupation du parking ou, s'il y a plusieurs installations, un système de jalonement dynamique est à prévoir. Des circonstances particulières (telles que par exemple des files d'attentes devant une installation de stationnement complète) sont à prendre en compte en sus de manière appropriée.

10 Stauraumbemessung

Bei der Dimensionierung des Stauraumes wird davon ausgegangen, dass ein Fahrzeug (mittlerer Abstand) 5m beansprucht.

10 Dimensionnement de la zone de stockage

Pour le dimensionnement de la zone de stockage on admet une longueur de 5m par véhicule en considérant un espacement moyen.

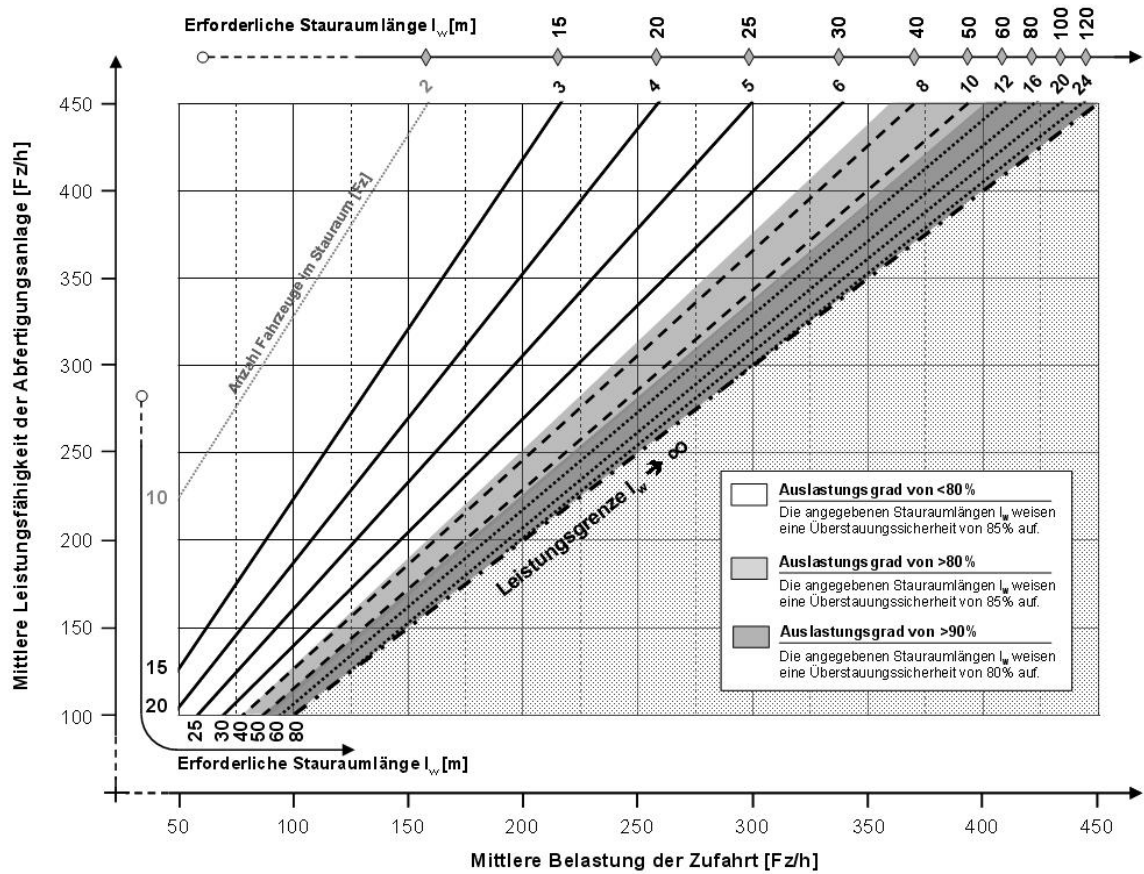


Abb. 1 Diagramm zur Bemessung der Stauräume

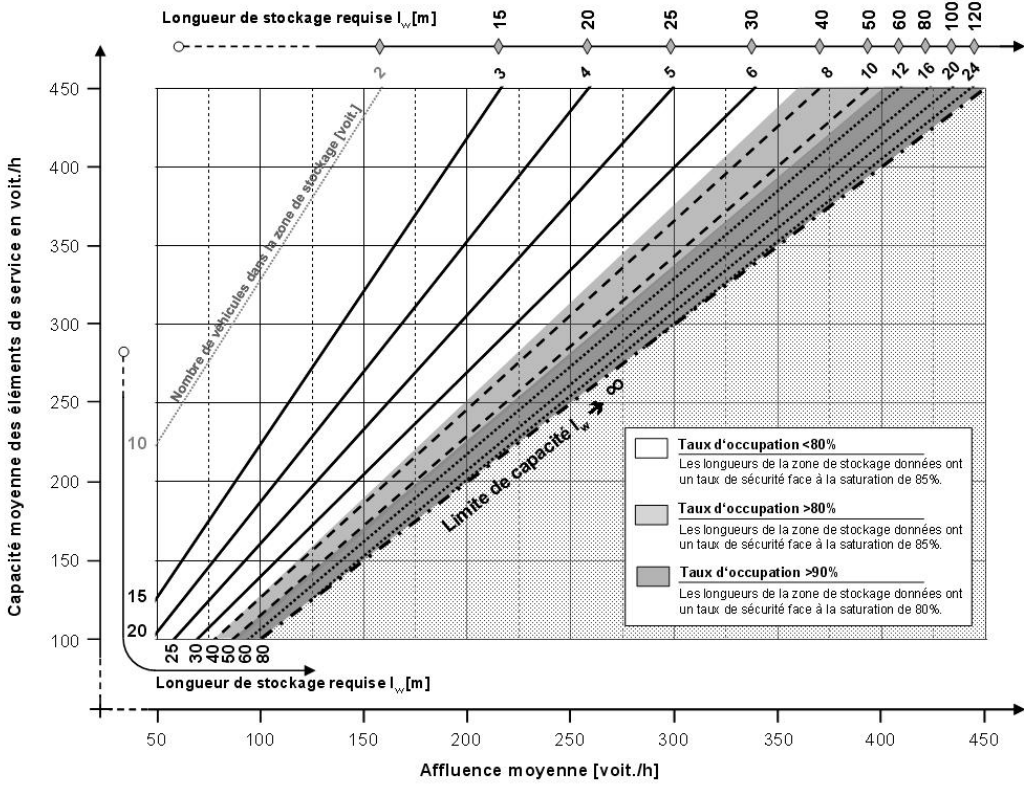


Fig. 1
Abaque pour déterminer la longueur de la zone de stockage (m)

E Anwendungsbeispiel

Ziel: Bestimmung des erforderlichen Stauraums

Ausgangsgrößen:

- Massgebende Zufahrtsbelastung:
 - Einfahrt: 225 Fz/h
 - Ausfahrt: 250 Fz/h
- Anzahl Fahrspuren: je 1 an Ein- und Ausfahrt
- Abfertigungssystem: Barcodetickets

Vorgehen:

- Mittlere Leistungsfähigkeit der Abfertigungsanlage:

Aus Tabelle 1:

- LF (Barcodetickets, Einfahrt) = 300 Fz/h
- LF (Barcodetickets, Ausfahrt) = 400 Fz/h

- Erforderliche Stauraulänge aus Abbildung 1

E Exemple

But: dimensionnement de la zone de stockage

Dimensions de départ:

- Affluence moyenne:
 - Entrée: 225 voit./h
 - Sortie: 250 voit./h
- nombre de voies: 1 entrée, 1 sortie
- système de contrôle: ticket à code-barre

Démarche:

- Capacité moyenne de l'installation de contrôle:

Du tableau 1:

- Capacité (ticket à code-barre, entrée) = 300 voit./h
- Capacité (ticket à code-barre, sortie) = 400 voit./h

- longueur de stockage requise selon la figure 1

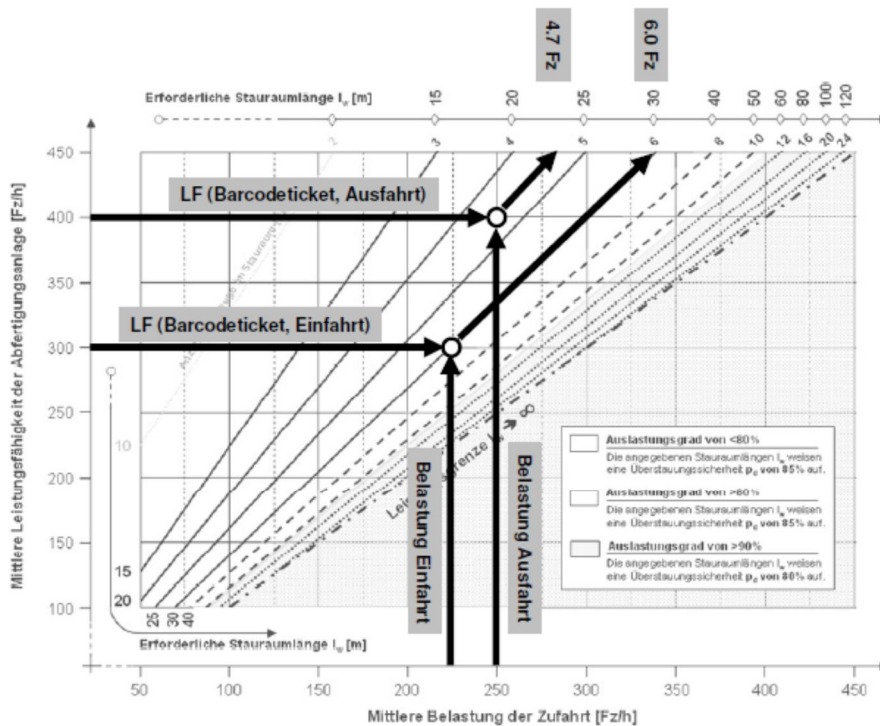


Abb. 2
Anwendung des Diagramms zur Bemessung der Stauräume

- Einfahrt:
- Erforderliche Stauraulänge = 6,0 Fz
 - Bemessung des Stauraums = 6 Fz = 30m

- Ausfahrt:
- Erforderliche Stauraulänge = 4,7 Fz
 - Bemessung des Stauraums = 5 Fz = 25m

Fig. 2
Utilisation de l'abaque pour déterminer les longueurs de stockage nécessaires

- Entrée:
- longueur de stockage requise = 6,0 voit.
 - dimensionnement zone de stockage = 6 voit. = 30m

- Sortie:
- longueur de stockage requise = 4,7 voit.
 - dimensionnement zone de stockage = 5 voit. = 25m

F Literaturverzeichnis

- [1] SN 640 017a Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm
- [2] SN 640 022 Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Knoten ohne Lichtsignalanlage
- [3] SN 640 280 Parkieren; Grundlagen
- [4] SN 640 291a Parkieren; Anordnung und Geometrie der Parkierungsanlage
- [5] SN 640 292a Parkieren; Gestaltung und Ausrüstung der Parkierungsanlagen
- [6] SN 671 850-1 Geräte zur Parküberwachung EN 12414: 1999 von Fahrzeugen – Parkscheinautomaten – Technische und funktionelle Anforderungen
- [7] EAR 91/05 Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs, Köln 1999/2005
- [8] Forschungsarbeit VSS 2000/455 Leistungsfähigkeit von Parkierungselementen; S. Gantenbein, G. Rindsfuser; Emch+Berger AG Bern, 2010
- [9] Hinweise zum Einsatz bargeldloser Zahlungsmittel beim Parken; FGSV, Köln 1998
- [10] Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung; W. Schnabel, D. Lohse; Verlag für Bauwesen, Berlin 1997

F Bibliographie

- [1] SN 640 017a Capacité, niveau de service, charges compatibles; norme de base
- [2] SN 640 022 Capacité, niveau de service, charges compatibles; Carrefours sans feux de circulation
- [3] SN 640 280 Stationnement; norme de base
- [4] SN 640 291a Stationnement; Disposition et géométrie des installations de stationnement
- [5] SN 640 292a Stationnement ; Conception et équipement des installations de stationnement
- [6] SN 671 850-1 Equipement de contrôle du EN 12414: 1999 stationnement des véhicules – Horodateurs – Spécifications techniques et fonctionnelles
- [7] EAR 91/05 Empfehlung für Anlagen des ruhenden Verkehrs, Köln 1999/2005
- [8] Travail de recherche VSS 2000/455 Capacité des installations de stationnement; S. Gantenbein, G. Rindsfuser; Emch+Berger AG Berne, 2010
- [9] Hinweise zum Einsatz bargeldloser Zahlungsmittel beim Parken; FGSV, Köln 1998
- [10] Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung; W. Schnabel, D. Lohse; Verlag für Bauwesen, Berlin 1997

Literaturverzeichnis

-
- [1] Empfehlung für Anlagen für des ruhenden Verkehrs EAR 05, Ausgabe 2005. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln.
-
- [2] Prof. Dr.-Ing. J. Gerlach, 2000: Untersuchung des Verkehrsablaufs an Abfertigungssystemen von Anlagen des ruhenden Verkehrs. Forschungsprogramm Stadtverkehr FE 77.421/1998; IGS Ingenieurgesellschaft Stolz mbH.
-
- [3] Empfehlung für Anlagen für des ruhenden Verkehrs EAR 91, Ausgabe 1991. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln.
-
- [4] Hinweise zum Einsatz bargeldloser Zahlungsmittel beim Parken, Ausgabe 1998. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln.
-
- [5] Parking: turnover capacities of car parks by P B Ellson; Laboratory Report LR1126. Traffic Systems Division, Traffic Engineering and Control Departement, Transport and Road Research Laboratory: Crowthorne, Berkshire 1984.
-
- [6] Parking: dynamic capacities by P B Ellson; Laboratory Report LR 221. Road Research Laboratory , Ministry of Transport: Crowthorne, Berkshire 1969.
-
- [7] LE STATIONNEMENT: Patrick Bays, Pascale Christe. Département de génie civil, Février 1994.
-
- [8] Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung; W. Schnabel, D. Lohse; Verlag für Bauwesen, Berlin 1997
-
- [9] Business statistic: Erich Wyler. Berner Fachhochschule, 2004
-
-
-
-
-

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
EAR	Empfehlungen für die Anlagen des ruhenden Verkehrs
EF	Einzelfahrzeug
FF	Folgefahrzeug
FGSV	Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen
Fz	Fahrzeug
IGS	Ingenieurgesellschaft Stolz mbH
Kap.	Kapitel
PDA	Personal Digital Assistant
RRL	Road Research Laboratory
SN	Schweizer Norm
VT	Zeitlücken-Verteilungen

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 09.09.2009

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2000 / 455

Projekttitel: Leistungsfähigkeit von Parkierungselementen

Enddatum: Dezember 2009

Projektleiter

Name: Vorname:

Amt, Firma, Institut: Emch+Berger AG Bern

Strasse, Nr.: Gartenstrasse 1, Postfach 6025

PLZ: 3001 Email:

Ort: Bern Telefon:

Kanton, Land: Bern, Schweiz Fax:

Texte:

Zusammenfassung der
Projektresultate:

Die Forschungsarbeit zeigte, dass die Leistungsfähigkeit von Abfertigungsanlagen massgeblich durch die beiden Faktoren Technik und Bedienung bestimmt wird. Unterschiede auf technischer Seite ergeben sich durch den Prüf- und Kontrollprozess der zum Einsatz kommenden Kontrollmedien. Im Vergleich zur technisch bedingten Abfertigungszeit bestimmt vor allem die vom Anwender gebrauchte Bedienzeit das Leistungsvermögen des Gesamtsystems. Erst der Faktor Mensch trägt mit seinem Fahrmanöver wie auch seinem Verhalten während des Bedienprozesses zur Streuung der Abfertigungszeiten und somit zu den Schwankungen der Leistungsfähigkeiten bei. Erhebungen an Abfertigungsanlagen ergaben durchschnittlich längere Abfertigungszeiten, als dies aus der bisherigen Norm zu schliessen war. Die geringeren Leistungsfähigkeiten waren unter anderem darauf zurückzuführen, dass bei den neuesten Berechnungen die zeitlichen Schwankungen aus der Bedienung wie auch jene aus dem Zeitbedarf für das Nachrücken der Folgefahrzeuge mitberücksichtigt wurden.

Die Länge des erforderlichen Stauraumes richtet sich nach der Abfertigungsleistung wie auch nach den Schwankungen in der Intensität des Zustromes. Zur Dimensionierung von Stauräumen sind die maximalen Staulängen von Interesse. In den Berechnungen wurde eine Überstauungssicherheit von 85% berücksichtigt. Die ermittelten Werte unterschieden sich nur geringfügig von jenen der Norm SN 640 293. Erst im Bereich der Leistungsgrenze waren grössere Abweichungen festzustellen, welche durch den Berechnungsansatz und den darin berücksichtigten Schwankungen der Abfertigungsleistungen sowie den Zufahrtsintensitäten begründet werden können.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Mit der Forschungsarbeit konnten die Leistungsfähigkeiten der Parkierungselemente bestimmt werden. Bezüglich den Leistungsfähigkeiten der Abfertigungsanlagen konnten gegenüber der bisherigen Norm geringere Werte festgestellt werden. Ähnliche Erkenntnisse gewann auch die FGSV bei ihrer Überarbeitung der EAR 05.

Folgerungen und
Empfehlungen:

Publikationen:

Es wird vorgesehen einen Artikel in der Fachzeitschrift <<Strasse und Verkehr>> zu veröffentlichen.

Beurteilung der Begleitkommission:

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:	
Umsetzung:	
weitergehender Forschungsbedarf:	
Einfluss auf Normenwerk:	

Präsident Begleitkommission:

Name:	Widmer	Vorname:	Paul
Amt, Firma, Institut:			
Strasse, Nr.:			
PLZ:		Email:	
Ort:		Telefon:	
Kanton, Land:		Fax:	

Unterschrift Präsident Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Auszug zur Integration in Schlussberichte (Stand: 4. Quartal 2010)

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II- Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1 <i>Footprint II- Langzeit Belag Performance und Umwelt Monitoring an der A1</i> <i>Footprint II- Long terme performance des chaussées et à la surveillance de l'environnement A1</i>	2010
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN <i>Affinité entre granulat et bitume, mise en application nationale de la EN</i> <i>Affinity between aggregate and bitumen, national implementation of the EN</i>	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen <i>Modèles de conduite sur autoroutes surchargées</i> <i>Speed patterns on congested highways</i>	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux <i>Bestimmung der Anwesenheit und Wirksamkeit von Haftmittel im Asphaltbeton</i> <i>Determination of the presence and efficiency of adhesion agent in asphalt concrete</i>	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinkörnungen am Haufwerk <i>Répétabilité et reproductibilité de la résistance à la compression des granulats en vrac</i> <i>Repeatability and Reproducibility of the compressive Strength on the Stack</i>	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden <i>Base de projet pour installations de feux de circulation et guide</i> <i>Design basics for traffic light systems and guidelines</i>	2010
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen <i>Adhérence sur les chaussées hivernales</i> <i>Skid resistance of winter road surfaces</i>	2010
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung <i>Speed on upgrades and downgrades; revision</i> <i>Les vitesses dans les rampes et les pentes; vérification</i>	2010

622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts <i>Aspects juridiques d'un concept de sécurité basé sur les risques et l'efficience</i> <i>Legal aspects of a risk and efficiency based safety approach</i>	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen <i>Procédure de détermination du besoin d'entretien dans les réseaux routiers communaux</i> <i>Procedure for determining the maintenance requirements of municipal road networks</i>	2009
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben <i>Systematical impact assessment of small and medium transport projects</i> <i>Analyses des impacts systématiques pour projets de transport petits et moyens</i>	2009
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement <i>Application de couches intercalaires de géosynthétiques pour la gestion de l'entretien des chaussées</i> <i>Application of asphalt interlayers for road maintenance management</i>	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route <i>Perspektiven und Anwendungen der Navigationsmethoden für die Strassenverkehrstelematik und für das Strasseninformationssystem</i> <i>Perspectives and applications of the navigation systems for the intelligent transportation systems and for the road information system</i>	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlagschutzgalerien <i>RiskNow-Falling Rocks</i> <i>Outil intégré Excel pour le calcul de risques sur les galeries de protection contre les chutes de pierre</i> <i>RiskNow-Falling Rocks</i> <i>Excel-based tool for the risk analysis of rockfall protection galleries</i>	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern <i>Comportement d'adhérence des unités de précontrainte à torons</i> <i>Bond behaviour of strand tendons for post-tensioning</i>	2009
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton <i>Béton filtré ultra-performant pour augmenter l'efficacité de la maintenance des ouvrages d'art en béton armé</i> <i>Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete for increasing efficiency of the maintenance of reinforced concrete road structures</i>	2010

1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle <i>Développement d'une centrale de cogénération à base d'huile végétale avec propre moulin à huile</i> <i>Development of a vegetable oil block heat and power plant with own oil mill</i>	2010
1296	ASTRA 2007/008	Swis contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP) <i>Schweizer-Beitrag zum Russpartikel-Messprogramm für schwere Motorwagen (HD-PMP)</i> <i>Contribution de la Suisse au Programme de Mesure des Particules pour voitures automobiles lourdes (HD-PMP)</i>	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages? -(Performance-orientierte Methoden) <i>Relation between binder properties and damage characteristics of pavements ?</i> <i>(Performance orientated methods)</i>	2010
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Schadensprozesse und Zustandsverläufe <i>Processus de dégradation et lois d'évolution</i> <i>Pavement damage processes and performance curves</i>	2008
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen <i>Génération de trafic par des installations de stationnement</i> <i>Traffic generation of parking facilities</i>	2009
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesysteme (SGPS) <i>Système de prévision de chaussées glissantes</i> <i>Forecasting Expert System for Road Slipperiness</i>	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum-Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung <i>Espace de rues sans obstacles-</i> <i>Exigences des personnes avec handicap</i> <i>Obstacle free traffic areas-</i> <i>Demands of people with disabilities</i>	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen <i>Modernisation des feux de signalisation</i> <i>Modernisation of traffic control systems</i>	2010