

# DIPLOMARBEIT

## Master Thesis

### **Analyse von Haltestellenaufenthaltszeiten der Wiener U-Bahn hinsichtlich des Potentials für energiesparende Fahrweise**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs / einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Ostermann  
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Johannes Kehrer, BSc

E230

Institut für Verkehrswissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Julia Kammerer, BSc

0727066

Quellenstraße 79-83/3-4, 1100 Wien

Wien, am

.....

## **Kurzfassung**

Heutzutage ist – zumindest innerhalb weite Teile Europas – ökologisch geprägtes ökonomisches Denken und Handeln so gut wie überall zu finden, so zum Beispiel auch im Wiener Mobilitätsunternehmen „Wiener Linien GmbH & Co KG“. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Untersuchung möglicher Reduktion des Energieverbrauchs im U-Bahn System basierend auf dem Einfluss der tageszeitabhängigen Schwankungen der Haltestellenaufenthaltszeiten. Dafür wird in einem ersten Block zuerst die in diesem Bereich vorhandene Literatur aufbereitet. Daran knüpft in einem zweiten Block eine empirische Untersuchung mittels Erhebungen auf der Linie U4 in Wien an. Nach Ermittlung der maßgebenden Stationen (Phase 1) werden die jeweiligen Haltestellenaufenthaltszeiten in diesen in der Morgen- und Abendspitze erhoben (Phase 2). Die Auswertung der erlangten Werte erfolgt anhand der im ersten Block aufbereiteten Themen: Fahrplanerstellung, Zugsicherungssysteme, energiesparende Fahrweisen sowie Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeiten. Dabei werden mögliche Zeitreserven aufgezeigt, energiesparende Fahrweisen ermittelt und die Einflüsse auf die Haltestellenaufenthaltszeiten behandelt. Die Analyse der erhobenen Werte lässt darauf schließen, dass auf Grund der hohen Sensitivität die Berücksichtigung unterschiedlicher pauschaler Haltestellenaufenthaltszeiten in unterschiedlichen Zeitabschnitten des Tages sinnvoll ist.

## **Abstract**

Today – at least in big parts of Europe – ecologically driven economical thinking and acting is found virtually everywhere. For example in the Vienna mobility company “Wiener Linien GmbH & Co KG”. The main focus of this paper is on studying the possible reduction of the energy consumption in the metro system based on the varying terminal dwell times throughout the day. Therefore in the first block the existing literature will be processed. The second block follows up by conducting, an empirical study with data collecting on the line U4 in Vienna. After identification of the relevant stations (phase 1) the particular dwell times will be collected in the morning and evening peak time (phase 2). The analysis of the collected data is made with the help of the processed themes in the first block: scheduling, railway supervision systems, energy saving driving styles and factors of influence on the terminal dwell times. Thereby the possible time reserves, the energy saving driving styles and the influences on the terminal dwell times will be identified. The analysis of the collected data suggests that due to the high sensitivity it is reasonable that different overall terminal dwell times are considered in different time periods of the day.

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>II</b>	<b>LITERATURANALYSE</b> .....	<b>2</b>
1	Fahrplanerstellung .....	2
1.1	Reisezeit .....	3
1.1.1	Fahrzeit.....	3
1.1.2	Haltezeit.....	9
1.2	Methode der Fahrplanerstellung .....	13
1.3	Taktfahrplan .....	16
2	Zugsicherungssysteme .....	17
2.1	Abstandhaltetechniken .....	17
2.1.1	Fahren im Sichtabstand.....	17
2.1.2	Fahren im Zeitabstand.....	17
2.1.3	Fahren im Raumabstand .....	18
2.2	Zugbeeinflussungssysteme.....	18
2.2.1	Punktförmige Zugbeeinflussung .....	19
2.2.2	Linienförmige Zugbeeinflussung.....	20
2.2.3	Mischsysteme .....	22
2.2.4	European Train Control System.....	22
3	Energiesparende Fahrweisen .....	24
3.1	Fahrphasen .....	24
3.2	Fahrweise zwischen zwei Haltestellen .....	25
3.2.1	Straffe Fahrweise.....	25
3.2.2	Energiesparende Fahrweise .....	26
3.2.3	Zusätzliche Halte auf der Strecke .....	33
3.3	Fahrweise auf gesamter Strecke.....	34
3.4	Fahrweise im Gesamtsystem .....	35
3.5	Empirische Untersuchungen in der Literatur .....	36
3.5.1	Flexible Abschaltgeschwindigkeit: Hamburger Hochbahn .....	37
3.5.2	Energiesparende Fahrweise: U-Bahn Bangkok.....	37
4	Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeiten .....	39
4.1	Einflussfaktor Fahrgast.....	40
4.2	Einflussfaktor Fahrzeug.....	42
4.2.1	Türbewegungszeit / Türanordnung / Türanzahl .....	43

4.2.2	Einstiegsbereich .....	43
4.2.3	Innenraumgestaltung.....	47
4.2.4	Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit .....	49
4.3	Einflussfaktor Haltestelle .....	49
4.3.1	Haltestellenausbildung.....	50
4.3.2	Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit .....	55
4.4	Einflussfaktor Betrieb .....	56
4.5	Empfehlungen und Abhängigkeiten der Einflüsse .....	58
<b>III</b>	<b>EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG.....</b>	<b>60</b>
1	Grundlegendes .....	60
1.1	Untersuchungsgebiet Allgemein: Wiener U-Bahn Netz.....	60
1.2	Untersuchungsgebiet Detail: Wiener U-Bahn Linie U4.....	65
1.3	Rahmenbedingungen der Erhebung .....	69
2	Durchführung.....	69
2.1	Phase 1 – Datenerhebung und -darstellung.....	69
2.2	Phase 1 – Datenauswertung und Interpretation .....	71
2.3	Phase 2 – Datenerhebung und -darstellung.....	73
2.3.1	Datenerhebung und –darstellung Morgen- bzw. Abendspitze je Haltestelle (Szenario 1) .....	75
2.3.2	Datendarstellung Gesamtwerte Morgen- bzw. Abendspitze (Szenario 2).....	98
2.4	Phase 2 – Datenauswertung und Interpretation .....	105
2.4.1	Datenauswertung und Interpretation Morgen- bzw. Abendspitze je Haltestelle (Szenario 1) .....	105
2.4.2	Datenauswertung und Interpretation Gesamtwerte Morgen- bzw. Abendspitze (Szenario 2) .....	107
2.5	Phase 1 und 2 – Datendarstellung, Datenauswertung und Interpretation .....	109
2.5.1	Datendarstellung Gesamtwerte Tagesverlauf (Szenario 3) .....	109
2.5.2	Datenauswertung und Interpretation Gesamtwerte Tagesverlauf (Szenario 3) .....	114
2.5.3	Datendarstellung Fahrzeugtyp.....	115
3	Fazit und mögliche weitere Vorgehensweise.....	116
<b>IV</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>117</b>

## **Begriffsklärung „energiesparende Fahrweise“**

Unter dem Begriff der „energiesparenden Fahrweise“ werden in dieser Arbeit sämtliche Fahrweisen verstanden, welche dazu dienen den Energieverbrauch möglichst gering zu halten. In der Literatur werden dafür auch Begriffe wie „energiesparsame Fahrweise“, „energieoptimierte Fahrweise“, „energieeffiziente Fahrweise“ etc. verwendet.

## **Abkürzungen**

ATO	Automatic Train Operation
Bf	Bahnhof
CrCo	Cruising Coasting
DFZR	Dynamische Fahrzeitenregelung
EOZ	Energieoptimaler Fahrplan
ETCS	European Train Control System
EVC	European Virtual Computer
GSM	Global System for Mobile Communication
GSM-R	GSM-Rail
Hbf	Hauptbahnhof
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MW	Arithmetischer Mittelwert
NMIV	Nichtmotorisierter Individualverkehr
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen-Holding AG
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PRM	People with Reduced Mobility (Definition siehe „Leitfaden für barrierefreien Öffentlichen Verkehr“ der Forschungsgesellschaft Mobilität [1])
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
U-Strab	Unterpflasterstraßenbahn

## Variablen

A	Aussteigende
$a_{\max}$	maximale Anfahrbeschleunigung
$a_{\text{red}}$	reduzierte Anfahrbeschleunigung
E	Einsteigende
E	Energie
$L_T$	Leistungsfähigkeit einer Türe
t	Zeit
$t_0$	Start des Fahrgastwechsels
$t_{50\%}$	50%-Quantil (Median)
$t_E$	Ende des Fahrgastwechsels
$t_E'$	theoretisches Ende des Fahrgastwechsels
$t_{\text{fest}}$	vorgeschlagene feste Haltestellenaufenthaltszeit
$t_p$	Zugfolgepufferzeit
$t_{x\%}$	Quantilswert von $t_{\text{fest}}$
$v_{\text{ist}}$	Ist-Geschwindigkeit (tatsächliche Geschwindigkeit)
$v_{\max}$	maximale Höchstgeschwindigkeit
$v_{\text{red}}$	reduzierte Höchstgeschwindigkeit
$v_{\text{soll}}$	Sollgeschwindigkeit
$v_{\text{Ziel}}$	Zielgeschwindigkeit

# I EINLEITUNG

Bewusster Ressourcenverbrauch und ökologischer Fußabdruck sind Themen mit denen sich derzeit Wirtschaft und Gesellschaft vielfach auseinandersetzt. Die verwandten Themen Energieeffizienz und Reduktion des Energieverbrauchs treten in allen möglichen Bereichen des Lebens auf, sei es auf privater, politischer oder auf unternehmerischer Ebene, so auch bei der Stadt Wien und deren 100% Tochtergesellschaft „Wiener Linien GmbH & Co KG“ (kurz: Wiener Linien). Das gegenständliche Unternehmen betreibt das Öffentliche Personennahverkehrsnetz (ÖPNV-Netz) in Wien und umfasst dabei die Bereiche U-Bahn, Bus und Straßenbahn. Als im Eigentum der Stadt Wien stehende Gesellschaft ist diese dazu aufgefordert die Rahmenstrategie der Smart City<sup>1</sup> Wien umzusetzen. Die Ziele der Rahmenstrategie Smart City Wien für 2050 sind z.B. Erhöhung des Energieanteils aus erneuerbaren Quellen auf 50%, Reduktion des Endenergieverbrauchs um 40% (im Vergleich zu 2005), Senkung des MIV-Anteils auf deutlich unter 15% etc. [2]

Diese Arbeit befasst sich – in Bezug auf das Wiener U-Bahn Netz – mit den Schwankungen der Haltestellenaufenthaltszeiten im Tagesverlauf, sowie deren Einfluss auf eine energiesparende Fahrweise und soll damit das Erreichen des Ziels „Reduktion des Energieverbrauchs“ unterstützen.

Der erste Block der Arbeit ist in zwei Bereiche gegliedert. In die beiden Grundlagenkapitel FAHRPLANERSTELLUNG und ZUGSICHERUNGSSYSTEME, sowie in die Vertiefungskapitel ENERGIESPARENDE FAHRWEISEN und EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE HALTESTELLEN-AUFENTHALTSZEITEN. Der zweite Block der Arbeit umfasst die empirische Untersuchung und die Anwendung der im ersten Block festgehaltenen Informationen.

Die empirische Untersuchung ist in zwei Phasen gegliedert. Die Erhebungen in der ersten Phase erfolgen mittels Mitfahrt im Fahrzeug, dabei werden die Haltestellen mit dem größten Fahrgastaufkommen festgestellt. Die zweite Phase erfasst in diesen ermittelten Stationen die Haltestellenaufenthaltszeiten in der Morgen- und Abendspitze.

Das Ziel der Arbeit ist es mittels der im festgelegten Untersuchungsgebiet (Linie U4 in Wien) erhobenen Haltestellenaufenthaltszeiten dahingehend zu untersuchen, dass festgestellt werden kann, inwiefern sich eine Anpassung der Haltestellenaufenthaltszeiten bei der Linienzugbeeinflussung auf den Energieverbrauch auswirkt.

Als nächstes wird nun im ersten Block der Arbeit die vorhandene Literatur aufbereitet.

---

<sup>1</sup> Unter Smart City Wien wird die „Entwicklung einer Stadt, die die Themen Energie, Mobilität, Gebäude und Infrastruktur prioritär und miteinander verknüpft vorantreibt“ [2] bezeichnet. Es gelten dabei nachfolgende Prämissen „- Radikale Ressourcenschonung - hohe, soziale ausgewogene Lebensqualität - Entwicklung und produktiver Einsatz von Innovationen/neuen Technologien“ [2]

## II LITERATURANALYSE

### 1 Fahrplanerstellung

In diesem Kapitel werden Fragestellungen wie Was ist ein Fahrplan? Wie wird ein Fahrplan erstellt? Aus welchen Komponenten besteht die Reisezeit? Was für Pufferzeiten gibt es? behandelt. Dies bildet die Grundlage für die Vertiefungskapitel Energiesparende Fahrweisen (Kapitel 3) und Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeiten (Kapitel 4).

Im Speziellen sind die im Fahrplan enthaltenen Pufferzeiten im Hinblick auf die energiesparende Fahrweise wichtig. Oftmals werden diese Fahrweisen unter Nutzung der nicht benötigten Pufferzeiten realisiert. Die Definition der Haltezeiten ist wiederum für die Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeiten notwendig.

Ein Fahrplan ist definiert als:

*„Vorausschauende Festlegung des Fahrtverlaufes der Züge hinsichtlich Verkehrstage, Fahrzeiten, Geschwindigkeiten und zu benutzender Fahrwege.“*  
Definition Fahrplan gemäß Pacht [3]

*„Unter einem Fahrplan versteht man die Aufstellung der Abfahrtszeiten und Ankunftszeiten von Verkehrsmitteln, mit der für einen bestimmten Zeitraum der Betriebsablauf im Voraus festgelegt wird.“*  
Definition Fahrplan gemäß Rollinger [4]

Ein Fahrplan hat drei unterschiedliche Aufgaben.

Die ERSTE Aufgabe ist die Koordination der Trassenwünsche. Im U-Bahn Bereich ist das keine zentrale Aufgabe, da dieses System unabhängig vom sonstigen Bahnverkehr agiert und dies somit eine rein interne Problemstellung darstellt. Die Betriebsfahrten und die Fahrten zur Beförderung der Fahrgäste sind jedoch auch im U-Bahn Bereich zu koordinieren.

Als ZWEITES dient die Fahrplanerstellung zur Festlegung des Soll-Betriebsablaufs. Mehrere Darstellungsformen des Fahrplans dienen dabei den unterschiedlichen Bedürfnissen der Betriebsstellen. Die örtliche Betriebsführung nutzt beispielsweise Darstellungsformen, welche alle Züge auf einem Streckenabschnitt abbilden, die Zugführer hingegen nutzen Pläne, welche den Fahrverlauf eines einzelnen Zuges darstellen.

Die DRITTE Aufgabe eines Fahrplans ist die Informierung der Fahrgäste. Dies erfolgt über unterschiedlichste Medien, wie zum Beispiel mittels Kursbuch, Homepage oder

auch via Apps. In diesem Zusammenhang ist die Darstellung des Fahrplans in möglichst einfacher und übersichtlicher Form sehr wichtig. [3]

Auf diesen Grundlagen aufbauend werden die Zeitanteile der Reisezeit und der Beförderungszeit erläutert, anschließend die unterschiedlichen Methoden der Fahrplanerstellung und der Taktfahrplan.

## 1.1 Reisezeit

Im Personenverkehr hat der Fahrgast die Möglichkeit, die Beförderungszeit mit Hilfe des Fahrplans zu ermitteln. Die für ihn ausschlaggebende Komponente, die Reisezeit, muss jedoch jede Person für sich selbst kalkulieren.

Unter der Reisezeit wird dabei die Summe aus Zugangszeit zum Verkehrsmittel, Beförderungszeit und Abgangszeit vom Verkehrsmittel verstanden. Die Beförderungszeit setzt sich wiederum aus Fahrzeit, Haltezeit und aus eventuell vorhandenen Umsteigezeiten zusammen (siehe dazu Abbildung 1.1). [3]

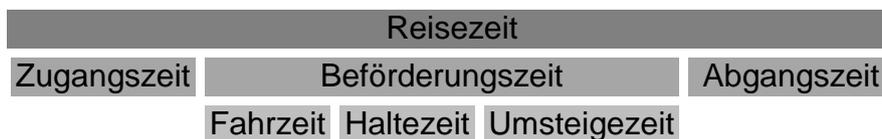


Abbildung 1.1: Zeitanteile Reisezeit

Betrachtet man den Bereich der U-Bahnen, so können die Zu- und Abgangswege mit anderen öffentlichen Verkehrssystemen (ÖV-Systeme), motorisiertem Individualverkehr (MIV) oder nichtmotorisiertem Individualverkehr (NMIV) zurückgelegt werden. Dies hat zur Folge, dass sehr unterschiedliche Zugangs- und Abgangszeiten zur U-Bahn Haltestelle vorhanden sind.

### 1.1.1 Fahrzeit



Abbildung 1.2: Zeitanteile Fahrzeit

Die Regelfahrzeit besteht, wie aus Abbildung 1.2 ersichtlich, aus der reinen Fahrzeit, dem Regelzuschlag und dem Bauzuschlag [3]. Diese drei Komponenten, sowie die planmäßigen Wartezeiten, die außerplanmäßigen Wartezeiten und die Fahrzeitreserven werden nachfolgend erläutert.

### Reine Fahrzeit

Unter der reinen Fahrzeit versteht man die Zeit, welche durch fahrdynamische Berechnung ermittelt wird [3].

### Regelzuschlag

Der Regelzuschlag dient dazu Schwankungen der Fahrzeit auszugleichen, welche auf Grund von unterschiedlichen Rahmenparametern im Laufe des Fahrbetriebes entstehen können [3]. Beispiele solcher Rahmenparameter sind: [3], [5]

- Fahrweisen unterschiedlicher Triebfahrzeugführer
- Leistungen unterschiedlicher Triebfahrzeuge
- unterschiedliche Laufwiderstände
- kleinere durch Zufall entstehende Verspätungen

Der Regelzuschlag wird auf die reine Fahrzeit prozentuell aufgeschlagen, was gleichmäßig über die gesamte Strecke oder punktuell in den Knoten erfolgen kann. In Abbildung 1.3 und Abbildung 1.4 ist dies auf einer Strecke mit den imaginären Haltepunkten A, B, C und D grafisch dargestellt. [3], [6]

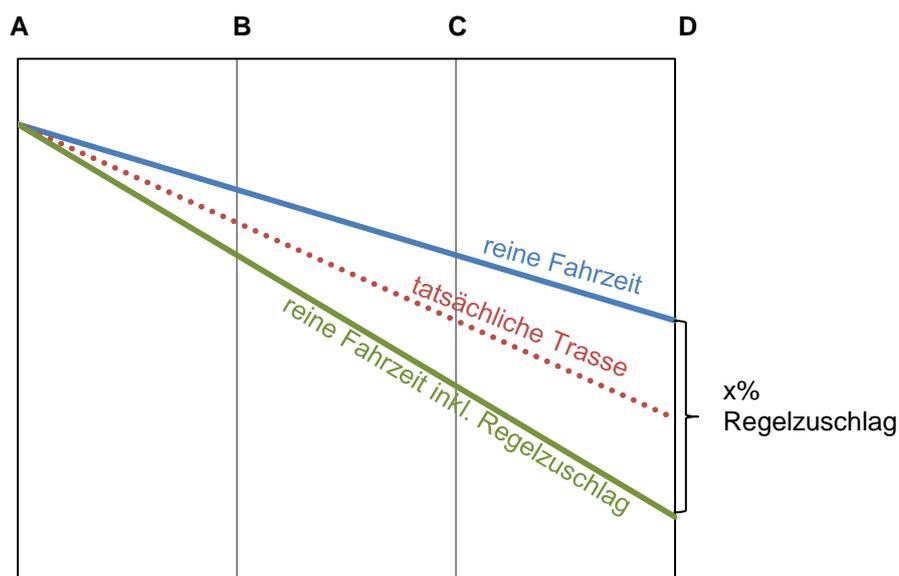


Abbildung 1.3: gleichmäßige Verteilung [6] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

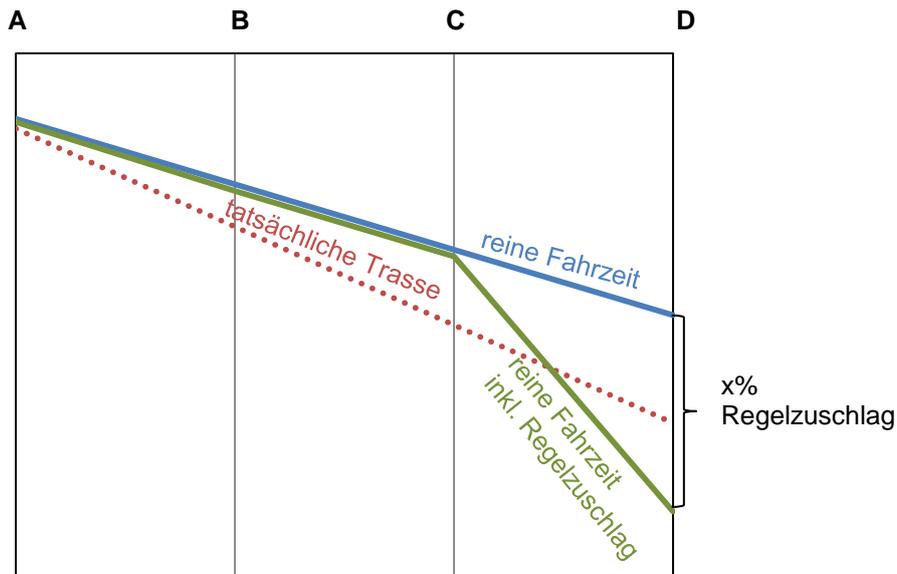


Abbildung 1.4: punktuelle Verteilung [6] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

Abbildung 1.5 veranschaulicht wie sich eine Störung in der Station C bei gleichmäßiger Verteilung bzw. bei punktueller Verteilung des Regelzuschlages auswirkt.

Es ist erkennbar, dass in Station B beim Szenario der gleichmäßigen Verteilung eine zusätzliche Wartezeit bis zur Abfahrtsminute auftritt, wohingegen bei punktueller Verteilung die Fahrt ohne unnötige Wartezeit weitergeführt werden kann. Daraus resultiert, dass bei Variante „gleichmäßiger Verteilung“ in Station C die vorhandene Pufferzeit nicht ausreicht, um die Störung zu unterbinden. Bei der punktuellen Verteilung andererseits ist auf Grund des nicht verbrauchten Puffers in Station B dieser in ausreichender Größe vorhanden, sodass Station D wie geplant erreicht wird.

Bei Systemen mit sowohl stark als auch schwach belasteten Abschnitten kann es von Vorteil sein, den Regelzuschlag in Ausgleichszonen anzubringen. Diese Ausgleichszonen sollten dabei in schwach belasteten Abschnitten platziert werden. In sehr stark belasteten Abschnitten wird der Fahrplan ohne Berücksichtigung des Regelzuschlages berechnet. [6]

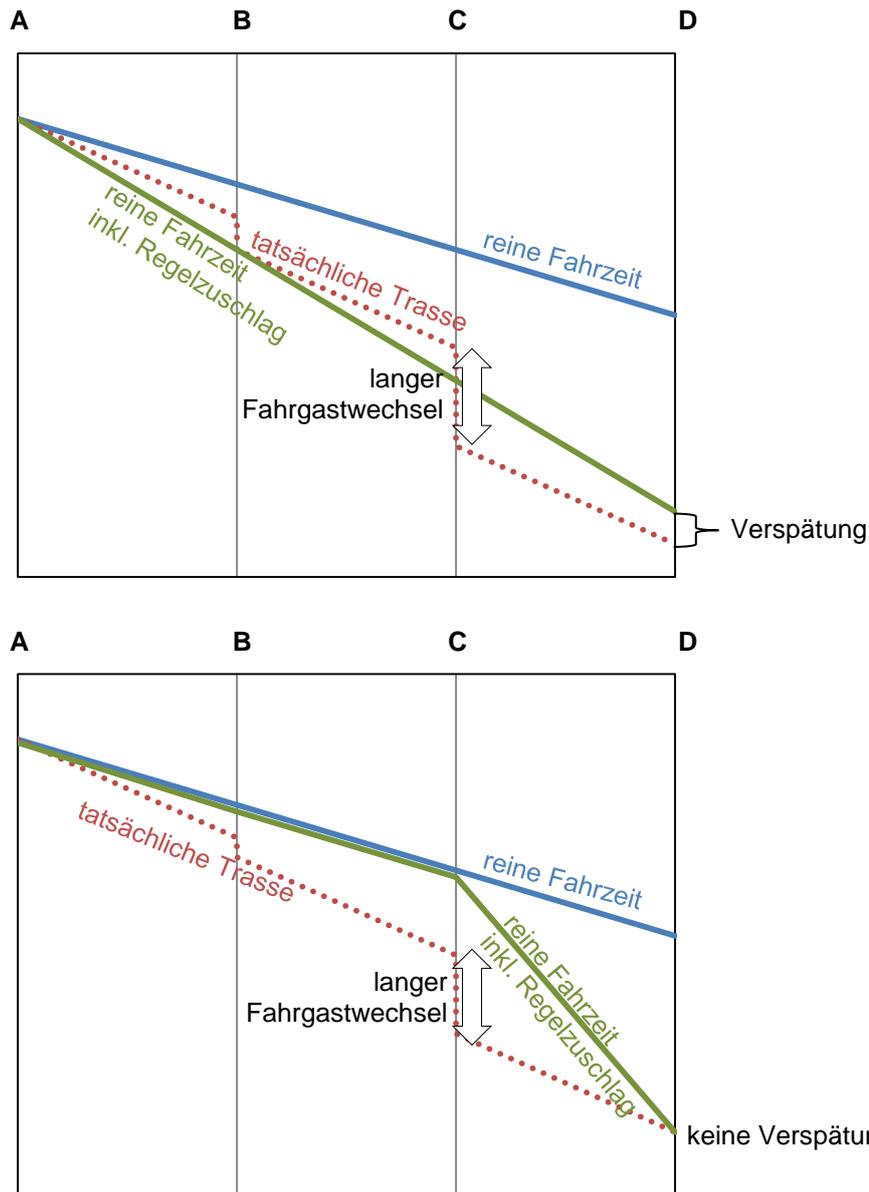


Abbildung 1.5: Störungsvergleich unterschiedlicher Regelzuschlagverteilung  
Gleichmäßige Verteilung (o.) / punktuelle Verteilung (u.) des Regelzuschlages [6]  
(leicht modifiziert – eigene Darstellung)

### Bauzuschlag

Ist eine längere Fahrzeit auf Grund einer Baustelle, einer temporären Langsamfahrstelle oder dgl. nötig, so wird diese im Bauzuschlag berücksichtigt. Dieser Bauzuschlag wird im betroffenen Streckenabschnitt zur reinen Fahrzeit als absoluter Wert addiert. [3]

### Planmäßige Wartezeiten

Planmäßige Wartezeiten sind Haltezeiten, welche im Fahrplan eingearbeitet sind, und können für ein gefahrloses Kreuzen oder Überholen notwendig sein. Diese Halte werden auch als Betriebshalte auf der Strecke bezeichnet. (siehe Kapitel 1.1.2) [3]

### **Außerplanmäßige Wartezeiten**

Außerplanmäßige Wartezeiten entstehen durch Unregelmäßigkeiten in der Betriebsabwicklung und können in Verspätungen resultieren. Verspätungen treten auf, wenn der Zug die im Fahrplan veröffentlichte Ankunftszeit nicht einhält. Je nach Verkehrssystem und Verkehrsbetrieb werden unterschiedliche Definitionen von Pünktlichkeit verwendet. So wird in der Pünktlichkeitsstatistik der Österreichische Bundesbahnen-Holding AG (ÖBB) jeder Zug als pünktlich angesehen, wenn er die Ankunftszeit um nicht mehr als fünf Minuten überschreitet. [3], [7]

Gründe für plötzlich entstehende Verspätungen können sein: [8]

- VERKEHRСУNTERNEHMERSEITIG: längere Fahrgastwechselzeiten, schadhafte Fahrzeuge, Abwarten von Anschlüssen etc.
- INFRASTRUKTURSEITIG: Weichen- und/oder Signalstörungen, Schäden an den Schienen, Schäden an der Stromversorgung etc.
- HÖHERE GEWALT: Unwetter und deren Folgen, Schmierfilm auf den Gleisen etc.

### **Fahrzeitreserven**

Fahrzeitreserven werden im Bereich der Fahrzeit durch den Regel- und Bauzuschlag sowie durch die Zugfolgepufferzeiten erlangt. Regel- und Bauzuschlag als Teil der Regelfahrzeit wurden bereits erläutert, weshalb nachfolgend zuerst die Zugfolgezeiten und die Mindestzugfolgezeit beschrieben werden, um im Anschluss die Zugfolgepufferzeiten zu behandeln.

Die **Zugfolgezeiten** können je nach Zugfolgefall in folgende vier Zeiten unterschieden werden (siehe Abbildung 1.6): [3]

- VORSPRUNGSZEIT  
Zeit zwischen zwei ausfahrenden Zügen, welche dasselbe Streckengleis benützen
- NACHFOLGEZEIT  
Zeit zwischen zwei einfahrenden Zügen, welche dasselbe Streckengleis benützen
- ABSTANDSZEIT  
Zeit zwischen ausfahrendem Zug und anschließend einfahrendem Zug, welche dasselbe Streckengleis benützen
- KREUZUNGSZEIT  
Zeit zwischen einfahrendem Zug und anschließend ausfahrendem Zug, welche dasselbe Streckengleis benützen

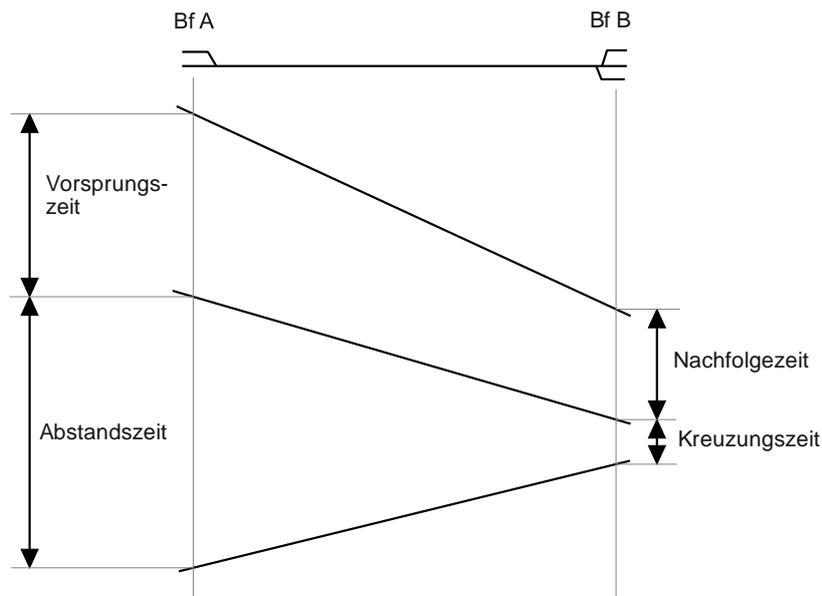


Abbildung 1.6: Zugfolgezeiten [3]

Im fahrplanmäßigen U-Bahn Betrieb und ohne Berücksichtigung von Betriebsfahrten sind ausschließlich die Vorsprungszeit und die Nachfolgezeit entscheidend.

Ein wesentlicher Punkt der Zugfolgezeiten stellt dabei die Ausbildung der Blockabschnitte dar, welche unbedingt als zeitgleiche und nicht raumgleiche Blockabschnitte ausgebildet werden sollen. [8]

Die **Mindestzugfolgezeit** ist bei der Fahrplanerstellung in Starklastzeiten eine wichtige Eingangsgröße. Dabei ist die Mindestzugfolgezeit die kleinstmögliche Zugfolgezeit, welche mittels der Sperrzeitenberechnung ermittelt wird. Berühren sich die Sperrzeitentreppen von zwei Zügen, so ist an dieser Stelle die Mindestzugfolgezeit gegeben. Beim Fahren im Abstand der Mindestzugfolgezeit würde sich eine Verspätung des vorderen Zuges auf den nachfolgenden Zug übertragen. Um dem entgegenzuwirken werden bei der Erstellung des Fahrplanes Pufferzeiten berücksichtigt. [3]

Die Mindestzugfolgezeit kann durch Blockabschnittsverkürzung, Fahrgeschwindigkeitserhöhung, Zuglängenverkürzung, bessere Anfahr- und Bremseigenschaften, Reduktion der Haltezeit und ähnliche Maßnahmen verkürzt werden. [8]

Die **Zugfolgepufferzeit** ist die Zeit zwischen den Sperrtreppen zweier Züge. Dies ist somit die Zeit, welche bei nicht fahrplanmäßigem Betrieb genutzt werden kann, um den Einfluss der Verspätungen des vorderen Zuges auf den nachfolgenden Zug zu verringern bzw. zu verhindern. Bei fahrplanmäßigem ungestörtem Betrieb wird die Pufferzeit nicht genutzt.

Je mehr Pufferzeiten berücksichtigt werden und umso größer diese dimensioniert werden, desto geringer ist die Betriebsleistung der betrachteten Strecke. Die Betriebsqualität hingegen steigt. [3]

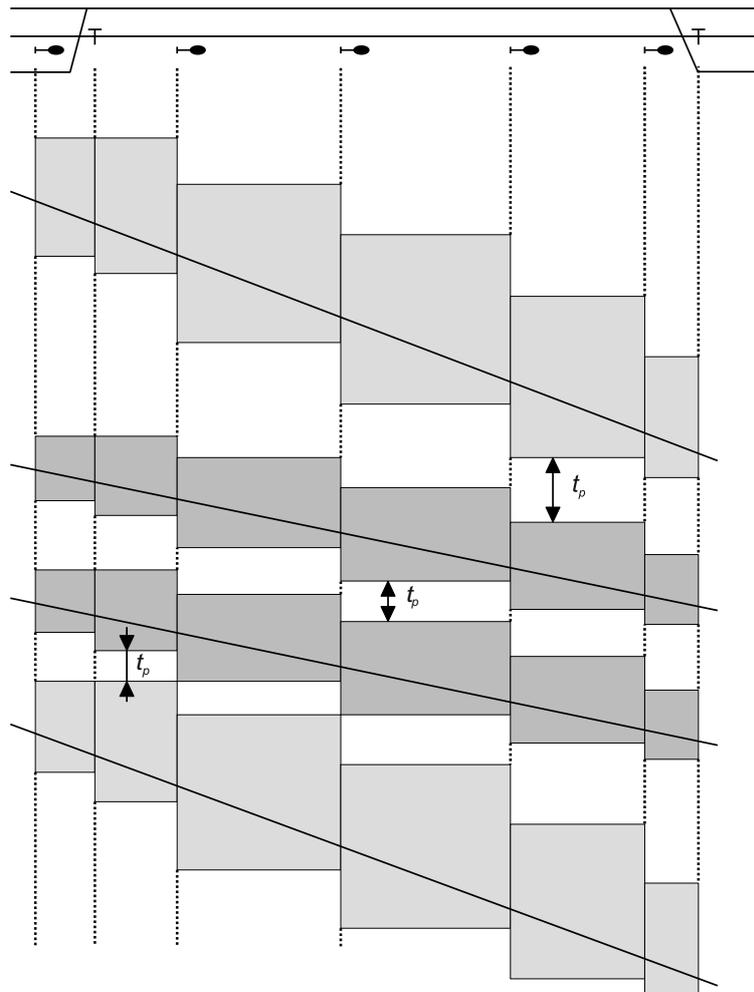


Abbildung 1.7: Pufferzeiten [3]

Die in Abbildung 1.7 dargestellten Pufferzeiten sind mittels  $t_p$  abgekürzt. Wäre  $t_p$  gleich null, so wäre an jener Stelle die Mindestzugfolgezeit vorhanden.

### 1.1.2 Haltezeit



Abbildung 1.8: Zeitanteile Haltezeit

Die Regelhaltezeit besteht aus Verkehrs-/Betriebshaltezeit und Abfertigungszeit [3]. Diese beiden Komponenten sowie die planmäßigen Wartezeiten und die Fahrzeitreserven werden nachfolgend für den Bereich der Haltezeit erläutert. Die außerplan-

mäßigen Wartezeiten wurden bereits im Zuge der Fahrzeiterläuterung behandelt (siehe Kapitel 1.1.1).

### Verkehrs-/Betriebshaltezeit

Unter der Verkehrshaltezeit versteht man den Halt eines Zuges aus verkehrlichen Gründen, zum Beispiel im Personenverkehr der Halt zwecks Fahrgastwechsel.

Analog dient die Betriebshaltezeit zur Durchführung betrieblicher Vorgänge: dies kann auf Grund Personalwechsel erforderlich sein, oder um einen Zug kreuzen, überholen etc. zu lassen. Diese Halte können somit auch auf der Strecke stattfinden und sind in diesem Fall als planmäßige Wartezeiten der Fahrzeit zuzurechnen.

Findet aus verkehrlichen und betrieblichen Gründen ein Halt statt, so ist die Haltezeit durch die größere der beiden Haltezeiten festgelegt (siehe Abbildung 1.9). Ein zeitgleiches Ausführen der Vorgänge resultiert in einer Optimierung des Fahrplanes bzw. Verkürzung der Beförderungszeit gegenüber nicht simultaner Ausführungen. [3]

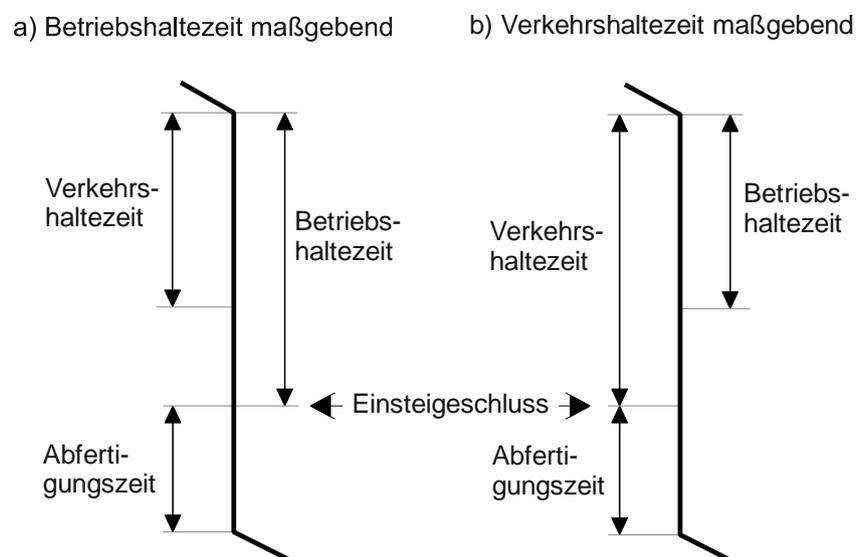


Abbildung 1.9: Regelhaltezeit [3]

Abbildung 1.10 beinhaltet eine detailliertere Darstellung der Verkehrshaltezeit [3].

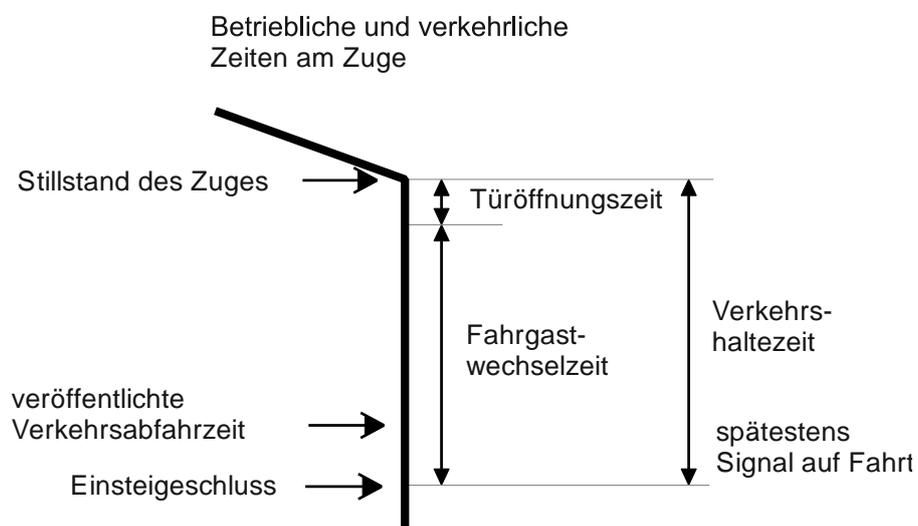


Abbildung 1.10: Verkehrshaltezeit [3] (leicht modifizierte Abbildung)

Wie aus Abbildung 1.10 ersichtlich, stellt die Fahrgastwechselzeit ein wesentlicher Bestandteil der Verkehrshaltezeit dar. Die Fahrgastwechselzeit hängt von vielen Faktoren ab und hat entscheidenden Einfluss auf den Betrieb von U-Bahnsystemen, weshalb auch in Kapitel 4 vertiefend auf dieses Thema eingegangen wird.

### Abfertigungszeit

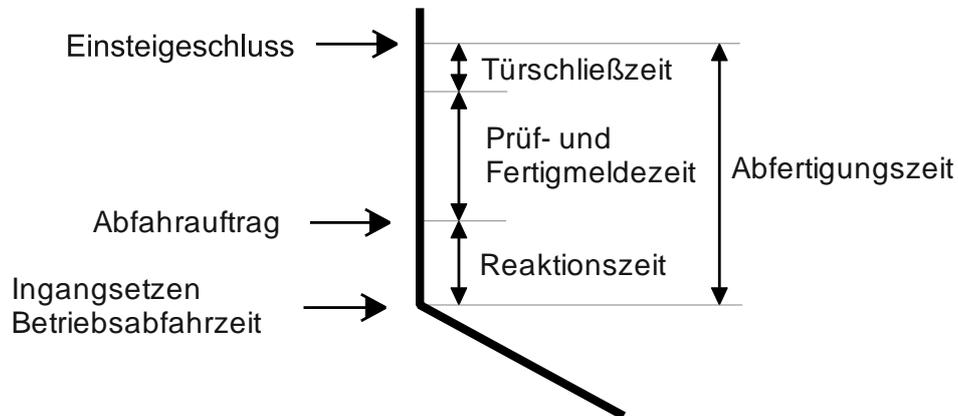


Abbildung 1.11: Abfertigungszeit [3] (leicht modifizierte Abbildung)

Die Abfertigungszeit besteht aus Türschließzeit, Prüf- und Fertigmeldezeit und Reaktionszeit, sie startet mit dem Einsteigeschluss und endet mit der Abfahrt des Zuges. [3]

### Planmäßige Wartezeiten

Planmäßige Wartezeiten im Bereich der Haltezeiten resultieren meist aus der Anforderung an einen Taktfahrplan (bzgl. Taktfahrplan siehe Kapitel 1.3)

Die erforderliche Zeit zur Abstimmung mehrerer Halte wird bei den Synchronisationszeiten berücksichtigt. Die Übergangszeit übt einen wesentlichen Einfluss auf die Synchronisationszeit aus, weshalb diese nachfolgend näher erläutert wird.

Die **Übergangszeit** beinhaltet sowohl die Umsteigezeit, als auch die Zeit des betrieblichen Überganges.

Beim Umsteigevorgang wechselt der Fahrgast das Fahrzeug, wobei der Umstieg sowohl innerhalb eines Verkehrssystems erfolgen, als auch einen Verkehrsmittelwechsel mit sich bringen kann. Somit ist es sinnvoll bei der Fahrplanerstellung die zu gewährleistenden Anschlüsse sowohl im selben Verkehrssystem als auch in anderen Systemen zu beachten. Die Umsteigezeit wird ebenfalls als Verkehrsübergangszeit betitelt, da ein Umsteigevorgang immer aus verkehrlichen Gründen stattfindet.

Aus betrieblichen Gründen wiederum kann es erforderlich sein, dass ein Übergang des Personals oder der Fahrzeuge auf einen anderen Zug stattfindet.

Diese Übergangszeit kann in die Mindestübergangszeit und in die Übergangspufferzeit aufgeteilt werden. Die Übergangspufferzeit dient wie die Zugfolgepufferzeit dazu eine Übertragung der Verspätung eines Zuges auf einen anderen Zug zu verhindern bzw. den Einfluss zu vermindern.

Bei einer durch die Übergangspufferzeit nicht gedeckten Verspätung kann ein unmittelbarer Anschluss nicht mehr garantiert werden, ohne zumindest einen Teil der Verspätung an das wartende Fahrzeug zu übertragen.

Im Nahverkehr sind die Auswirkungen eines Anschlussverlustes meist auch in Schwachlastzeiten nicht sehr groß. Im Fernverkehr hingegen kann ein Anschlussverlust einen sehr großen Qualitätsverlust bedeuten, weshalb bei der Dimensionierung der Übergangspufferzeit die alternativen Reisemöglichkeiten bei Anschlussverlust zu berücksichtigen sind. [3]

Bei der Planung von Anschlüssen und der Herstellung eines Taktfahrplanes ist die sogenannte **Synchronisationszeit** wesentlich. Sie dient der „verkehrlichen Abstimmung mehrerer Zugfahrten untereinander“ [3]. Die Synchronisationszeit tritt auch zwischen unterschiedlichen Verkehrsmitteln auf, so kann zum Beispiel eine Synchronisationszeit zwischen einer S-Bahn und einem Autobus bei beiden fahrplanmäßig berücksichtigt werden. Diese Intermodalität ist vor allem in Bereichen mit wenigen Verbindungen sehr wichtig und dient der Steigerung der Attraktivität des öffentlichen Verkehrs.

Prinzipiell ist das Hinzufügen einer Synchronisationszeit davon abhängig, in welchem Abstand die beiden Verkehrsmittel an der Haltestelle eintreffen und wie groß die Übergangszeiten sind.

Die Synchronisationszeit läuft per Definition von der Beendigung der Verkehrshaltezeit bis zum Ende der Übergangszeit des zweiten Zuges. [3]

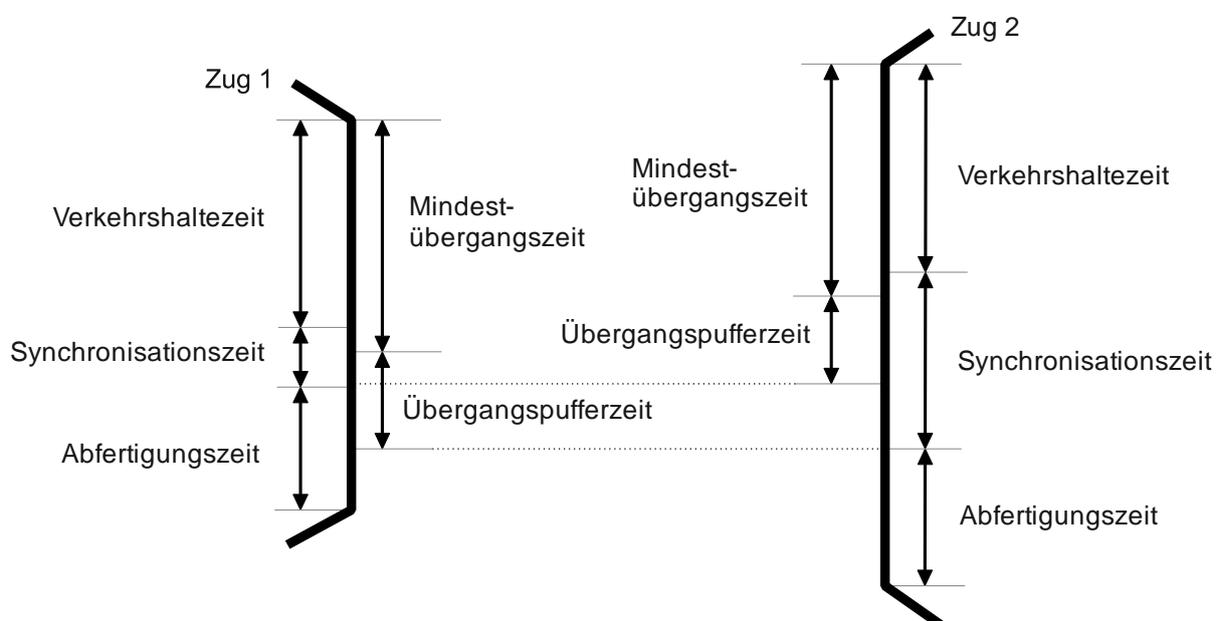


Abbildung 1.12: Übergangs- und Synchronisationszeit [3]

### Fahrzeitreserven

Die fahrplanmäßige Haltezeit ist auf den Fall der Vollauslastung ausgelegt. Besonders in Schwachlastzeiten ist der notwendige Haltestellenaufenthalt wesentlich ge-

ringer als in Spitzenzeiten. Daraus resultiert, dass bei nicht vorhandener Vollausslastung eine Wartezeit innerhalb der Station bis zur Abfahrtsminute entsteht. [5]

Diese zusätzlichen Wartezeiten werden in der Verkehrs- bzw. Betriebshaltezeit berücksichtigt.

Eine weitere Fahrzeitreserve entsteht durch im Einzelfall nicht benötigte Übergangspufferzeiten, welche bei Ermittlung der Synchronisationszeit berücksichtigt werden.

## 1.2 Methode der Fahrplanerstellung

Auf Grund der komplexen Randbedingungen und Abhängigkeiten sind trotz der einfachen mathematischen Berechnung computerunterstützte Lösungen erst seit Mitte der 90er Jahre in Anwendung. Auch heute werden zum Teil Fahrpläne noch manuell erstellt, insbesondere weil die Einpflegung und Aktualhaltung der Daten in den Computerprogrammen, im Speziellen im Bereich der Infrastruktur, aufwendig und anspruchsvoll ist. [3]

### Manuelle Fahrplanerstellung

Entgegen des Namens wird auch bei der manuellen Fahrplanerstellung in Teilbereichen rechnerunterstützt gearbeitet. Die komplette Erstellung des Fahrplans erfolgt jedoch hauptsächlich händisch und nicht nur mittels Computer. [3]

Mit Hilfe von rechnergestützten Verfahren werden die Fahrzeiten der Züge ermittelt und in sogenannten Fahrzeittafeln zusammengestellt. Mit Hilfe dieser Fahrzeittafeln können die Zeit-Weg-Linien eines Zuges konstruiert werden, wobei eine Fahrzeittafel dabei folgende Informationen eines Streckenabschnittes enthält: [3]

- *„maximal zulässige Geschwindigkeit*
- *Soll-Geschwindigkeit laut Fahrzeitenrechnung*
- *reine Fahrzeit*
- *Anfahr- und Bremszuschlagzeiten*
- *planmäßige Fahrzeit ohne Verkehrshalte (einschließlich Regelzuschlag)*
- *planmäßige Fahrzeit mit Verkehrshalten (einschließlich Regelzuschlag)“*

Im Bildfahrplan werden anschließend die Fahrplantrassen unter Beachtung der Zugfolgeabschnitte eingetragen und gegebenenfalls adaptiert. Die soeben erwähnten Zugfolgeabschnitte sind durch die bei den Betriebsstellen vorhandenen Fahrzeitmesspunkte, welche als Ortslinien im Bildfahrplan dargestellt sind, begrenzt.

Beim manuellen Verfahren werden die Betriebsstellen auf einen Punkt „komprimiert“. Die Annahme der Fahrzeitmesspunkte erfolgt somit nicht an den Stellen der Signale. Auch wird der Bahnhofsabschnitt zwischen Ein- und Ausfahrtsignal nicht als eigener Zugfolgeabschnitt deklariert, die Belegung dieses Abschnitts wird durch die Haltezeit berücksichtigt.

Um die Fahrzeit zwischen den Fahrzeitmesspunkten nicht zu vernachlässigen, ist bei Ermittlung der Mindestzugfolgezeit ein Zuschlag in Höhe von einer Minute zu berücksichtigen. [3]

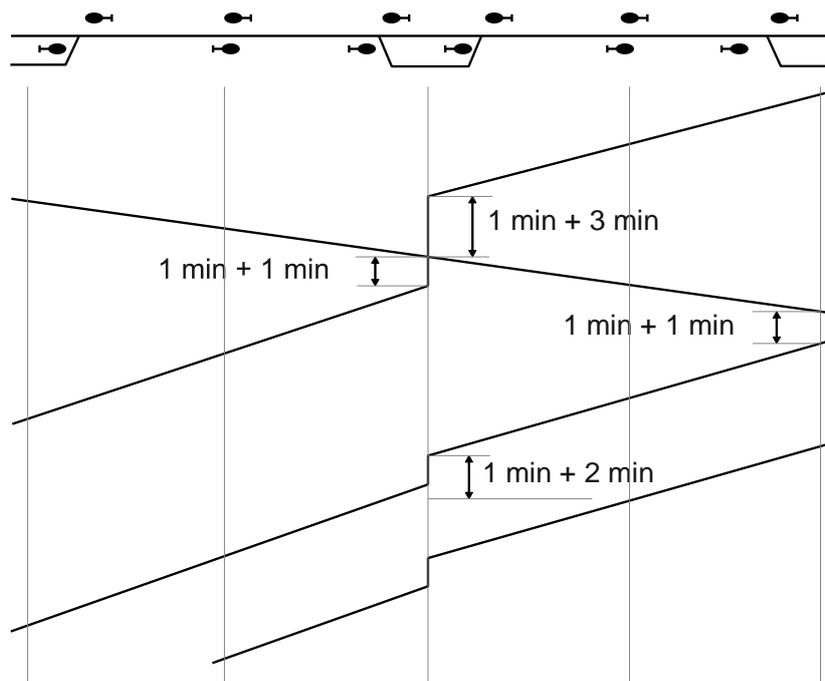


Abbildung 1.13: Schema manuelle Fahrplanerstellung [3]

### Rechnergestützte Fahrplanerstellung

Die rechnergestützte Fahrplanerstellung basiert meist auf dem System der Sperrzeitentreppeberechnung oder auf dem bei der manuellen Fahrplanerstellung verwendeten System.

Die Verwendung des Sperrzeitentreppe systems erfolgt häufig bei großen, komplexen Netzen, während die auf der manuellen Fahrplanerstellung basierenden Programme in Bereichen mit einer überschaubaren Netzstruktur verwendet werden. [3]

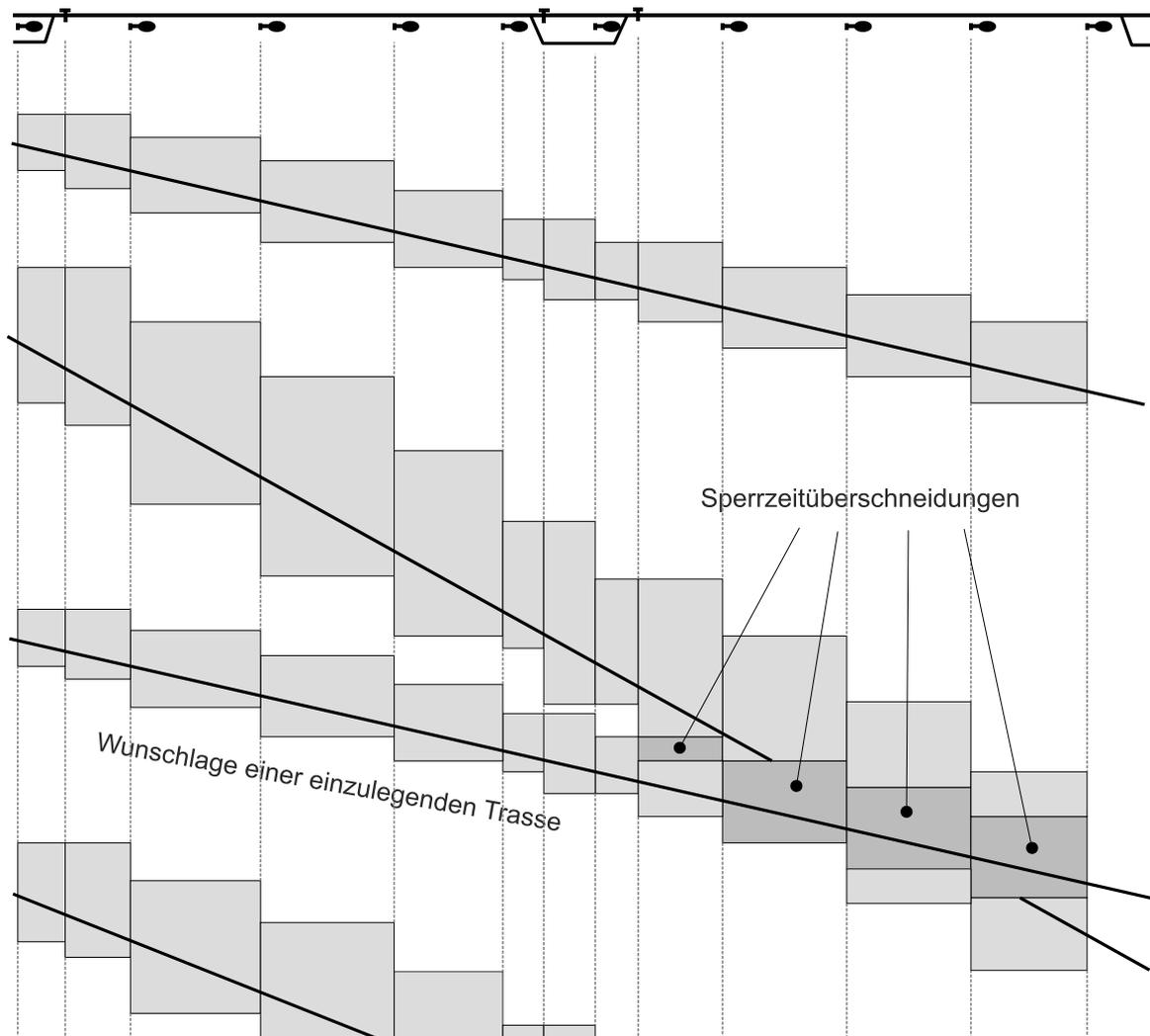


Abbildung 1.14: Trassenlage inkl. Sperrzeitentreppe [3]

In Abbildung 1.14 ist ersichtlich, dass bei Wunschlage der einzulegenden Trasse ein Konflikt mit einer anderen Zugtrasse auftritt. Dies ist durch die Sperrzeitüberschneidungen erkennbar.

Die Erstellung des Fahrplans auf Basis des Sperrzeitentreppe Modells trägt zur Qualitätssicherung bei, da bei den einfacheren Systemen ein Sperrzeitenkonflikt nie gänzlich ausgeschlossen werden kann. Weiters können beim sperrzeitbasierten Modell – im Vergleich mit anderen Modellen – die Pufferzeiten geringer veranschlagt werden. [3]

### Automatische Fahrplanerstellung

Gemäß *Albrecht* haben sich Verfahren zur automatischen Fahrplanerstellung bewährt. In der Literatur werden dazu mehrere unterschiedliche Ansätze und Steuergrößen diskutiert, allerdings würde die Erläuterung bereits einzelner dieser Verfahren den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Folglich darf bezüglich der Verfahren zur automatischen Fahrplanerstellung auf die zusammenfassende Aufstellung bei *Albrecht* verwiesen werden (siehe Seiten 14 bis 15). [9]

### 1.3 Taktfahrplan

Das Merkmal eines Taktfahrplanes ist, dass die Züge einer Linie konstante Zugfolgezeiten aufweisen.

Das entscheidende Kriterium beim Erstellen eines Taktfahrplanes ist die Infrastruktur. Diese hat bei der Erstellung entscheidenden Einfluss auf Grund von Zwangspunkten, wie zum Beispiel eingleisigen Strecken, solche Zwangspunkte sind entweder zu beheben oder bei der Konstruktion des Taktfahrplanes zu berücksichtigen.

Im U-Bahn System ist ein Taktfahrplan in Schwachlastzeiten relativ einfach möglich. Einschränkungen auf Grund von Infrastruktur oder anderen Linien sind durch das Systemmerkmal „Unabhängigkeit“ sehr gering.

Ein Taktfahrplan in Spitzenzeiten wird im U-Bahn System nicht ausgeführt, da bereits sehr niedrige Zugfolgezeiten gegeben sind und somit die Übergangszeiten trotz nicht vorhandenem Taktfahrplan gering sind.

Eine spezielle Art des Taktfahrplanes ist der integrale Taktfahrplan. Bei diesem werden die Taktzeiten mehrerer Linien in den Umsteigeknoten derart aufeinander abgestimmt, dass ein gleichzeitiges Umsteigen zwischen allen Linien möglich ist. [3]

Ein integraler Taktfahrplan kann auch zwischen unterschiedlichen Verkehrssystemen erstellt werden, dies fördert die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs.

Da selten das gleichzeitige Umsteigen zwischen allen Linien in einem Umsteigeknoten möglich ist, sind integrale Taktfahrpläne wie folgt zu unterscheiden: [8]

- IDEALER INTEGRALER TAKTFAHRPLAN  
Es können alle Anschlüsse hergestellt werden.
- MODIFIZIERTER INTEGRALER TAKTFAHRPLAN  
Die Herstellung aller Anschlüsse ist nicht möglich.
- INTEGRALER TAKTFAHRPLAN IM ERWEITERTEN SINNE  
Darunter versteht man „*die Summe aller ,Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität im (Schiene-)Personennahverkehr*“ [8]

Als Nachteil von integralen Taktfahrplänen ist unter anderem anzuführen, dass bereits bei geringen Verspätungen die Anschlüsse nicht mehr gewährleistet werden können, denn würden die Anschlüsse abgewartet, hätte dies zur Folge, dass bei anderen Umsteigeknoten die weiteren Anschlüsse stark gefährdet wären. Davon abgesehen können vom Fahrplan abweichende zeitgebundene Reisebedürfnisse wie die von Auszubildenden und Arbeitern/Angestellten nicht berücksichtigt werden. Ein weiterer Nachteil ist, dass sich fahrzeitverkürzende Maßnahmen nicht einfach realisieren lassen, denn bei Einarbeitung ist jeweils das gesamte System zu betrachten. Auch führt es meist zu Verschiebungen der Hauptverknüpfungspunkte. [8]

Nach dem in diesem Kapitel erfolgtem Einblick in das Thema Fahrplan, der Erläuterung der einzelnen Bestandteile der Reisezeit und der Hervorhebung der Pufferzeiten sowie der Erläuterung der Methoden zur Fahrplanerstellung wie auch des Taktfahrplanes behandelt das nächste Grundlagenkapitel die Zugsicherungssysteme.

## 2 Zugsicherungssysteme

In diesem Grundlagenkapitel werden unterschiedliche Abstandhaltetechniken und darauf aufbauende Zugsicherungssysteme erläutert. Eingesetzte Zugsicherungssysteme sollen die Gefährdung der Züge untereinander verhindern, dies ist insbesondere nötig, da die Schienengebundenheit ein Ausweichen verhindert und die geringen Bremskräfte lange Bremswege nach sich ziehen. [4], [10] Zugfolgezeiten, Pufferzeiten und Detailliertheit des Informationsaustauschs sind von den Zugsicherungssystemen abhängig.

Alle diese Punkte sind Rahmenbedingungen von energiesparenden Fahrweisen, weshalb Ausführungen in diesem Kapitel wesentliche Grundlagen für das Vertiefungskapitel 3 (Energiesparende Fahrweisen) darstellen.

### 2.1 Abstandhaltetechniken

Die Einteilung der Abstandhaltetechniken gemäß *Naumann und Pachl* ist wie folgt: [10]

- Fahren im Sichtabstand
- Fahren im Zeitabstand
- Fahren im Raumabstand
  - Fahren im festen Raumabstand
  - Fahren im wandernden Raumabstand

Diese Abstandhaltetechniken werden nachfolgend beschrieben.

#### 2.1.1 Fahren im Sichtabstand

Das Fahren im Sichtabstand wird üblicherweise im Straßenverkehr verwendet. Dabei ist der Abstand nach visueller Einschätzung des Abstands zum vorderen Fahrzeug und des eigenen Bremsweges zu wählen. Im Schienenverkehr wird auf Grund der langen Bremswege diese Abstandhaltetechnik ausschließlich im Bereich von geringen Geschwindigkeiten angewendet, somit entspricht – mit Ausnahme der Straßenbahn – diese Technik nicht der Regel. Das Fahren im Sichtabstand wird allerdings jedenfalls bei Rangierfahrten bzw. bei bestimmten Störungsfällen angewendet. Die Geschwindigkeit ist dabei bei Straßenbahnen mit einem Maximum von rund 70 km/h festgelegt, bei Rangierfahrten mit 25 km/h und bei Störungsfällen mit 40 km/h [3]. [10]

Ein Fahren auf Sicht ist im U-Bahn System nach dem Überfahren eines auf „bedingter Halt“ gestellten Blocksignals üblich, bei dieser Sicherung wird das bedingte Blocksystem verwendet (siehe Kapitel 2.1.3). [8]

#### 2.1.2 Fahren im Zeitabstand

Beim Fahren im Zeitabstand wird ein Mindestzeitabstand zwischen den Zügen festgelegt. Dieser beruht hauptsächlich auf Erfahrungswerten, der Kenntnis der Strecke und den Zugtypen. Bei einer Störung ist durch zusätzliche Aktionen wie das Abwerfen von Leuchtkugeln oder auch das Anbringen von Knallkapseln auf der Strecke der

nachfolgende Zug zu informieren. Diese Abstandhaltetechnik wird heutzutage kaum mehr eingesetzt. [3], [10]

### **2.1.3 Fahren im Raumabstand**

Beim Fahren im Raumabstand ist zu unterscheiden zwischen Fahren im festen Raumabstand (auch Fahren im Blockabstand) und Fahren im wandernden Raumabstand (auch Fahren auf „elektrische Sicht“). [10]

#### **Fahren im festen Raumabstand**

Das derzeitige Standardverfahren der Abstandhaltetechniken ist das Fahren im festen Raumabstand [3]. Dabei ist der gesamte Fahrweg in Abschnitte einzuteilen, wobei in jedem dieser sogenannten Blöcke sich ausschließlich ein einzelner Zug aufhalten darf. Der Anfang jedes Blockes ist mittels eines ortsfesten Signals ausgestattet. [10]

Ist ein Block durch einen Zug besetzt, so ist das entsprechende Signal auf „Halt“ gesetzt.

Beim U-Bahn-System wird zum Teil das bedingte Blocksystem angewendet. Dabei sind die Signale in Blocksignale und Hauptsignale zu unterscheiden. Blocksignale dienen lediglich der Einteilung der Blockabschnitte, Hauptsignale hingegen decken auch Weichen. Bei Blocksignalen kann „Fahrt“ und „bedingter Halt“ angezeigt werden. Bei „bedingter Halt“ hat der U-Bahn Fahrer anzuhalten, nach einer Wartezeit von ca. 60 Sekunden ist er befugt am Signal vorbeizufahren und den nachfolgenden Blockabschnitt mittels Fahren auf Sicht zu befahren. Mittels dieses Systems soll das Annähern an liegengebliebene Züge ermöglicht werden, sodass ein rasches Wegschieben möglich ist und die entstandene Betriebsstörung schnell behoben werden kann. [8]

#### **Fahren im wandernden Raumabstand**

Beim Fahren im wandernden Raumabstand bewegt sich der Block mit dem Zug mit. Der Zug schiebt sozusagen seinen Bremsweg, basierend auf der momentanen Geschwindigkeit, vor sich her. [8]

## **2.2 Zugbeeinflussungssysteme**

Beim Fahren im Raumabstand wird vorausgesetzt, dass die Sicherungssignale registriert und eingehalten werden. Um dies technisch überprüfen zu können, wurden Zugbeeinflussungssysteme, dies bedeutet Systeme bezüglich Austausches von Daten für die zulässige Fahrweise, eingeführt. Bei Zuwiderhandeln werden automatische Schutzreaktionen wie Zwangsbremungen ausgelöst. [3]

Zugbeeinflussungssysteme werden nach der Art der Informationsübertragung wie folgt eingeteilt: [3]

- Punktförmige Zugbeeinflussung
- Linienförmige Zugbeeinflussung
- Mischsysteme (sowohl punktförmig als auch linienförmig)

### 2.2.1 Punktförmige Zugbeeinflussung

Die punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) findet ihren Einsatz als zusätzliche Sicherung zum Fahren im festen Raumabstand, sie stellt somit lediglich eine Ergänzung zum vorhandenen ortsfesten Signalsystem dar. Dabei erfolgt der Informationsaustausch vom Fahrweg auf das Fahrzeug ausschließlich an bestimmten Stellen auf der Strecke, das heißt insbesondere an den Signalstandorten. Wird entgegen der zulässigen Information gehandelt (z.B. Zug fährt, obwohl Signal „Halt“ anzeigt, oder die zulässige Geschwindigkeit wird überschritten), so wird eine Zwangsbremmung eingeleitet. [3], [11]

#### Mechanische bzw. elektromechanische Informationsübertragung

Bei der mechanischen Informationsübertragung wird bei einer Überfahrt eines auf Halt stehenden Signals mechanisch ein Hebel ausgelöst, welcher mittels Öffnung der Hauptluftleitung eine Zwangsbremmung verursacht. Bei der elektromechanischen Übertragung hingegen werden bei Überfahren der durch die Signale gesteuerten Kontaktelemente die entsprechenden Informationen an das Triebfahrzeug weitergeleitet und dadurch die allenfalls notwendige Zwangsbremmung ausgelöst. [3]

#### Induktive Informationsübertragung

Das System der Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Induktion wird induktive Zugbeeinflussung genannt. Die unterschiedlichen Frequenzen und die Aktivität bzw. Inaktivität der Gleismagnete liefern die entsprechende Information an das Triebfahrzeug. Ist der Gleismagnet aktiviert, so liefert dies die Information, dass das Signal auf „Halt“ gesetzt ist, ist es deaktiviert, so steht das Signal auf „Fahrt“. Bei der Deutschen Bahn liefert die Frequenz zum Beispiel die Information, ob es sich um ein Vorsignal oder um ein Hauptsignal handelt, oder es wird über den Abstand zum nächsten Hauptsignal informiert (siehe Abbildung 2.1). [3]

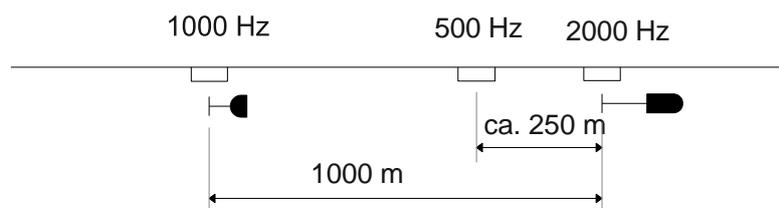


Abbildung 2.1: Gleismagnete [3]

Ein Nachteil dieses Systems ist, dass ein Ausfall eines Gleismagneten nicht im Triebfahrzeug bemerkt wird. Der Fahrzeugführer darf sich somit nicht rein auf die induktive Zugbeeinflussung verlassen. [3]

Weiters ist zu beachten, dass beim Hochgeschwindigkeitsverkehr das Sicherheitsniveau nicht mehr ausreichend ist, weil die Auswirkungen eines Fehlhandelns des Triebfahrzeugführers bei hohen Geschwindigkeiten groß sind. Auch ist die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Wahrnehmung der visuellen Signale bei über 160 km/h wesentlich höher als bei geringeren Geschwindigkeiten. [12]

Unter dem System **PZB 90** versteht man eine induktive Zugsicherung mit erweiterten Überwachungsfunktionen. Diese Überwachungsfunktionen sind: [13]

- WACHSAMKEITSPRÜFUNG: Überwachung des Triebfahrzeugführers hinsichtlich Wahrnehmung der Signale
- FAHRSPERRENFUNKTION: Einleitung einer Zwangsbremmung beim Vorbeifahren eines „Halt“ zeigenden Signales
- ÜBERWACHUNG DER BREMSFAHRT: Überprüfung der Geschwindigkeitsverringerrung auf Angemessenheit
- ÜBERWACHUNG EINES AN- BZW. WEITERFAHRENDEN ZUGES ÜBER EIN „HALT“ ZEIGENDES SIGNAL: Fahrgeschwindigkeit wird begrenzt um bei einem Fehlverhalten des Triebfahrzeugführers einen kurzen Bremsweg bei einer Zwangsbremmung zu erhalten.
- GESCHWINDIGKEITSÜBERWACHUNG: Einhaltung der Höchstgeschwindigkeit wird überwacht

### **Magnetische Informationsübertragung**

Die magnetische Informationsübertragung erfolgt analog zur induktiven. Die vorhandenen Gleismagnete sind Permanentmagnete, welche elektrisch deaktiviert werden. Bei Ausfall des elektrischen Systems bleiben die Magnete aktiv und geben die Information „Halt“ weiter, somit ist die Sicherheit jedenfalls gewährleistet. Ein Nachteil dieses Systems ist die geringe Möglichkeit der Übertragung von unterschiedlichen Informationen.

Ein praktischer Anwendungsfall dieses Sicherungssystem ist die Fahrsperrfunktion bei der Berliner U-Bahn. [3]

### **Informationsübertragung auf Transponderbasis**

Bei diesen Datenpunkten werden nicht nur Binärinformationen übertragen, sondern Datentelegramme. Ein wesentlicher Vorteil dieser Art der Informationsübertragung liegt darin, dass mittels Datentelegrammen der Abstand zum nächsten Datenpunkt übermittelt werden kann. Es kann dann wiederum mittels Beobachtung der Radumdrehungen eingeschätzt werden wann der nächste Datenpunkt zu erwarten ist. Wird der erwartete Datenpunkt nicht gefunden, so ist davon auszugehen, dass dieser ausgefallen ist und es hat eine Zwangsbremmung zu erfolgen.

Die Informationsübertragung auf Transponderbasis wird bei den Schweizer Bundesbahnen als auch bei den Dänischen Bundesbahnen sowie beim ETCS (European Train Control System) Level 1 (siehe Kapitel 2.2.4) angewendet. [3]

### **2.2.2 Linienförmige Zugbeeinflussung**

Bei der linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) findet eine kontinuierliche Überwachung der Geschwindigkeit und der Position des Zuges statt. Es wird zudem der Triebfahrzeugführer mittels einer Anzeige im Führerstand über die Sollgeschwindigkeit, die aktuelle Zielentfernung und die Zielgeschwindigkeit informiert, wodurch keine ortsfesten Signale mehr nötig sind [3]. [11]

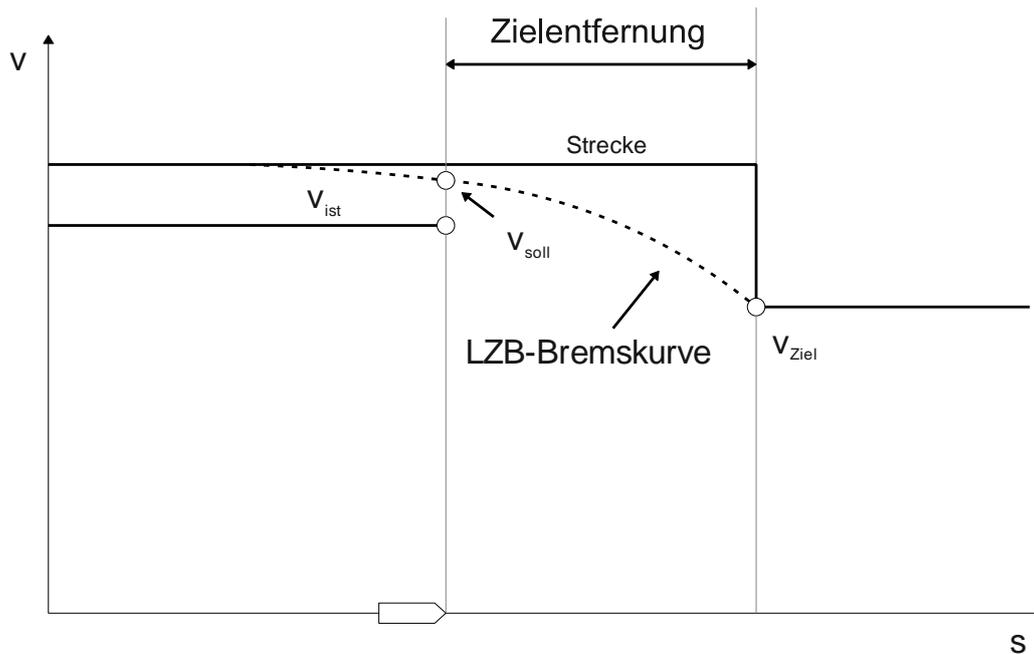


Abbildung 2.2: LZB Führungsgrößen [3]

Die Datenübertragung zwischen der Streckenzentrale und dem Fahrzeug kann über induktive Linienleiterschleifen, welche als Kupferkabel im Gleis ausgeführt werden, erfolgen [11]. Eine weitere Möglichkeit ist die Übertragung der Informationen über codierte Gleisstromkreise. Die Informationsübertragung kann auch über Funk erfolgen, dieses System wird Funkzugbeeinflussung genannt. [3]

Die notwendige genaue Feststellung der Position des Zuges erfolgt mittels Überkreuzung der im Gleis verlegten Linienleiter [3]. Diese Kreuzungsstellen befinden sich in regelmäßigen Abständen auf der Strecke, bei Stadtschnellbahnen meist in einem Abstand von etwa 25 m [8].

Das Fahrzeug registriert den in den Kreuzungsstellen stattfindenden Phasenwechsel und stellt fest, auf welcher Position sich der Zug befindet. Zwischen den Kreuzungsstellen wird die Position mit Hilfe der Radumdrehungen ermittelt. [12]

Bei der Funkzugbeeinflussung kann auf die Linienleiter verzichtet und die Ortung mittels passiven, codierten Datenpunkten durchgeführt werden [3].

Diese relativ genaue Ortung des Fahrzeuges führt dazu, dass beim automatischen Betrieb eine Zielbremsung mit einer Abweichung von etwa 0,1 bis 1,0 m möglich ist [8].

Die LZB kann eine Fehlhandlung des Triebfahrzeugführers ausschließen. Dies wird auch während der nicht automatischen Führung des Zuges gewährleistet. Es wird ein sehr hohes Sicherheitsniveau erreicht. [12]

Das **Zugsicherungssystem der Wiener U-Bahn** ist die LZB513. Es werden über die im Gleis verlegten Linienleiterschleifen Datentelegramme übertragen. Dies erfolgt mittels Kurzschleifensystem, welches im Regelfall eine Durchrutschweglänge von 74 m berücksichtigt. Bei einer Geschwindigkeitsüberschreitung von 4 km/h wird eine Zwangsbremmung auf die vorgeschriebene Geschwindigkeit abzüglich einer Toleranz

durchgeführt. Mit dem eingesetzten LZB System ist eine Zielbremsung mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,35$  m möglich. Weiters ist das automatisierte Fahren möglich. [4]

### 2.2.3 Mischsysteme

Mischsysteme sind auf einigen Bahnen im Einsatz. Dabei ist die linienförmige Zugbeeinflussung auf einem Bereich vor den Signalstandorten ausgeführt. Auf der restlichen Strecke erfolgt die Sicherung weiterhin mittels der punktförmigen Zugbeeinflussung. [3]

### 2.2.4 European Train Control System

Aufgrund der vielen unterschiedlichen Zugsicherungssysteme in ganz Europa, welche verschiedene Ausrüstungen in den einzelnen Fahrzeugen erfordern, ist ein grenzüberschreitendes System entwickelt worden, das ETCS (European Train Control System). Dieses System dient vor allem dazu, den intereuropäischen Hochgeschwindigkeitsschienenverkehr wesentlich zu vereinfachen und zu fördern. [11]

Dieses System hat drei Stufen von Zugsicherungssystemen, die Level 1 bis 3. Fahrzeugseitig ist die notwendige Ausrüstung auf allen Stufen gleich, der Unterschied liegt in der Datenübertragung und der fahrwegseitigen Ausbildung. [3]

Das ETCS arbeitet mit folgenden technischen Komponenten: [10]

- EUROBALISE: System zur punktförmigen Datenübertragung. Übertragung von signalunabhängigen und signalabhängigen Daten vom Fahrweg auf das Fahrzeug
- EUROLOOP: System zur linienförmigen Datenübertragung. Prinzip des Kabellinienleiters, wie bei der LZB.
- EURORADIO: sicheres, standardisiertes Funkübertragungsverfahren. Basierend auf dem GSM (Global System for Mobile Communication) mit dem Namen GSM-R (GSM-Rail)
- EUROCAV: standardisierte Fahrzeugeinrichtung. Diese ist mittels eines ETCS-Bus mit dem Fahrzeugrechner European Virtual Computer (EVC) verbunden.

#### ETCS – Level 1

Bei Einführung dieses Systems bleiben die ortsfesten Signale bestehen. Es wird lediglich eine einheitliche PZB mit kontinuierlicher Überwachung eingeführt. [10]

Die Übermittlung der Signalinformationen an das Fahrzeug erfolgt mittels Eurobalisen. Die Ermittlung der erlaubten Geschwindigkeit des Zuges erfolgt anhand der Streckendaten durch den EVC, welcher die jeweilige vorhandene Geschwindigkeit überwacht und gegebenenfalls eine Zwangsbremsung veranlasst. [12]

Die Feststellung der Position erfolgt durch die Eurobalise, welche hier als „elektronische Kilometersteine“ angesehen werden können. Zwischen den Eurobalisen wird die Position mittels Koppelsensorik festgestellt. [10]

#### ETCS – Level 2

Der Level 2 ist sehr stark an das LZB System angelehnt. Die Ortung des Fahrzeugs wird wie in Level 1 mittels Eurobalisen, die lediglich eine feste Identifikationsnummer

an das Fahrzeug übermitteln, festgestellt. Diese Eurobalisen benötigen keinerlei elektrischen Anschluss und können somit sehr einfach im Gleis verlegt werden. [12]

Die ermittelte Position wird mittels des Funks GSM-R regelmäßig an die Funkblockzentrale übermittelt, wobei die Fahrerlaubnis von der Funkblockzentrale über Funk gegeben wird. Die Gleisfreimeldung erfolgt über Achszähler oder Gleisstromkreise und es wird das System des Fahrens im festen Raumabstand angewendet. Ortsfeste Signale sind auf diesem Level nicht nötig. [10]

Der wesentliche Unterschied zum LZB System ist, dass die „Intelligenz“ mit Hilfe des EVCs im Fahrzeug vorhanden ist. [12]

### ETCS – Level 3

Die reine Zugbeeinflussung wird bei diesem Level um die funkbasierte Abstandhaltung der Züge erweitert. Mit diesem System ist das Fahren im absoluten Bremswegabstand möglich. Dies wird auch als „Moving Block“ oder Fahren im wandernden Raumabstand bezeichnet [12]. Dabei bewegt sich der Block mit dem Zug. Die Sicherung erfolgt über quasikontinuierliche Übermittlung der Zugposition und der Zugvollständigkeit an die Leitzentrale. Die Feststellung der Position erfolgt wie in Level 2 [3]. [10]

Die Notwendigkeit der Zugvollständigkeitsüberprüfung resultiert daraus, dass bei einem eventuell abgetrennten Waggon dieser nicht mehr elektronisch sichtbar ist und somit der folgende Zug auffahren würde.

Das ETCS – Level 3 wird derzeit nur in unabhängigen Teilnetzen eingesetzt wie der Skytrain in Vancouver, der Docklands Light Rail in London und der Metrolinie 13 in Paris. [12]

Nach der in diesem Kapitel erfolgten Klärung von wesentlichen Inhalten wie Abstandhaltetechniken, punktförmige und linienförmige Zugbeeinflussung, Mischsysteme, ETCS-System werden in Verbindung mit den zuvor erfolgten Erläuterungen in Bezug auf die Fahrplanerstellung nachfolgend die unterschiedlichen energiesparenden Fahrweisen behandelt.

## 3 Energiesparende Fahrweisen

Prinzipiell gibt es viele Möglichkeiten den Energieverbrauch des Schienenverkehrs zu reduzieren. Anknüpfungspunkte für eine potentielle Reduktion des Energieverbrauchs sind die Fahrzeuge selbst, die Infrastruktur, die betrieblichen Verfahren und die personellen Maßnahmen. Fahrweisen, die zwecks Minimierung des Energieverbrauchs optimiert werden, sind im Bereich betriebliche Verfahren einzugliedern. Oftmals können mehrere Methoden gleichzeitig angewendet werden, wobei in diesem Fall die Abhängigkeiten untereinander zu berücksichtigen sind. So sinkt zum Beispiel der Energieverbrauch eines Fahrzeugs mit dem Fahrzeuggewicht, die Bremsenergieerückspeisung vermindert sich allerdings auch, weshalb nur eine geringere Menge an Energie in das System zurückgeleitet werden kann.

Da der Energiebedarf der Traktion mehr als die Hälfte des ins Netz eingespeisten Stromes beträgt und der Schwerpunkt dieser Arbeit auf den Haltestellenaufenthaltszeiten liegt, wird nachfolgend detailliert auf die unterschiedlichen Fahrweisen und deren Möglichkeiten zur Reduktion des Energieverbrauches eingegangen. [14]

Zuvor werden zur besseren Verständlichkeit die einzelnen Fahrphasen erläutert. Danach werden die Fahrweisen zwischen zwei Haltestellen, die Fahrweisen bei Betrachtung der gesamten Strecke, sowie die Fahrweisen bei Betrachtung des Gesamtsystems behandelt. Abschließend werden ausgewählte empirische Untersuchungen beschrieben.

### 3.1 Fahrphasen

Fahrweisen können immer in mindestens drei Fahrphasen – Anfahrphase, Beharrungsphase und Bremsphase – unterteilt werden. Die Ausrollphase ist als vierte Fahrphase zu nennen. [9] Diese viertgenannte Phase kommt nicht bei allen Fahrweisen zur Anwendung.

Während der ANFAHRPHASE wird auf die maximale Streckenhöchstgeschwindigkeit, reduzierte Streckenhöchstgeschwindigkeit bzw. die durch das Fahrzeug erreichbare Geschwindigkeit beschleunigt.

Bei der BEHARRUNGSFAHRT wird gerade so viel Zugkraft bzw. Bremskraft aufgewendet, dass die durch den Beschleunigungsvorgang erreichte Geschwindigkeit bis zum Wechsel in die nächste Fahrphase konstant gehalten wird.

In der AUSROLLPHASE wird die Antriebskraft ausgesetzt und keinerlei Energie mehr zugeführt.

Die BREMSPHASE startet mit dem Bremseinsatzpunkt und hat das Ziel, das Fahrzeug auf eine reduzierte Geschwindigkeit oder zum Halten zu bringen. [15]

In der Ebene oder in einer Steigung sind die Fahrphasen in folgender Reihenfolge anzuordnen (siehe Abbildung 3.1): [16]

- Anfahrphase
- Beharrungsphase
- Ausrollphase
- Bremsphase

Im Gefälle wiederum ist die Reihenfolge der Fahrphasen wie folgt (siehe Abbildung 3.1): [16]

- Anfahrphase
- Ausrollphase
- Beharrungsphase  
(mit Bremsen an der maximal zulässigen bzw. reduzierten Geschwindigkeit)
- Bremsphase

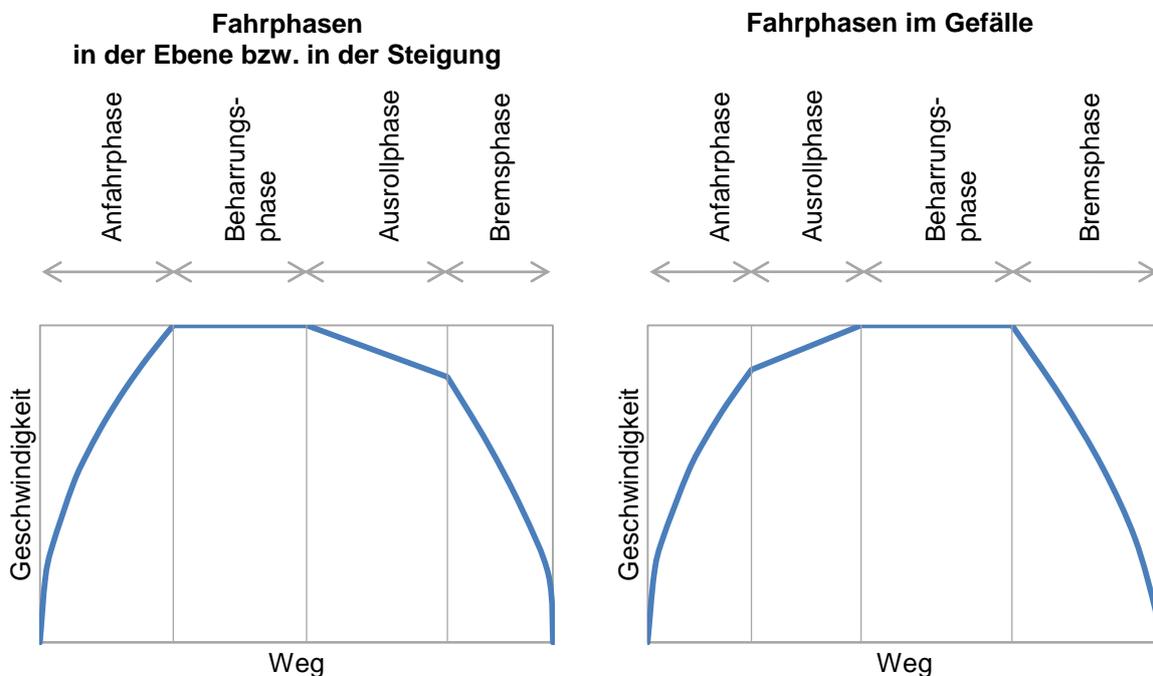


Abbildung 3.1: Fahrphasen in der Ebene, in der Steigung (li.) und im Gefälle (re.) [16]  
(leicht modifiziert – eigene Darstellung)

## 3.2 Fahrweise zwischen zwei Haltestellen

### 3.2.1 Straffe Fahrweise

Mittels einer straffen Fahrweise werden die Fahrzeiten so weit wie möglich minimiert. Dies erfolgt durch Beschleunigung mittels maximaler Zugkraft, Beharrungsfahrt mittels maximal zulässiger bzw. maximal erreichbarer Geschwindigkeit und Bremsung mittels vorgegebener, konstanter Bremsverzögerung. [17]

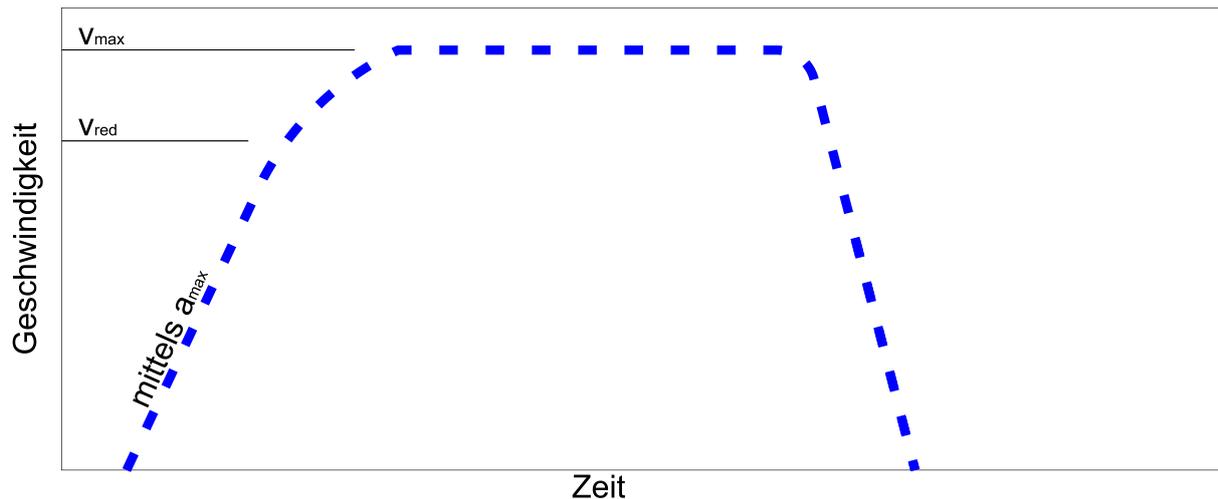


Abbildung 3.2: straffe Fahrweise

### 3.2.2 Energiesparende Fahrweise

Untersuchungen und Überlegungen zum „*energieoptimale[n] Fahrspiel für eine Fahrt zwischen zwei Halten*“ [9] gibt es seit den 1970er Jahren. Dabei verwendete Algorithmen sind zum Beispiel die Theorie der optimalen Steuerung, Fuzzy-Regler, Suchverfahren zur Findung von optimalen Trajektorien, dynamische Programmierung, evolutionäre Algorithmen udgl. [9]

Die Grundidee der energiesparenden Fahrweise ist die nicht benötigten Zeitreserven zu Gunsten einer Energieverbrauchsreduktion zu verwenden [17].

In Abbildung 3.3 ist der Energieverbrauch in Abhängigkeit von der Fahrzeit dargestellt. Dies zeigt auf, dass je länger die Fahrzeit ist, umso geringer ist der Energieverbrauch.

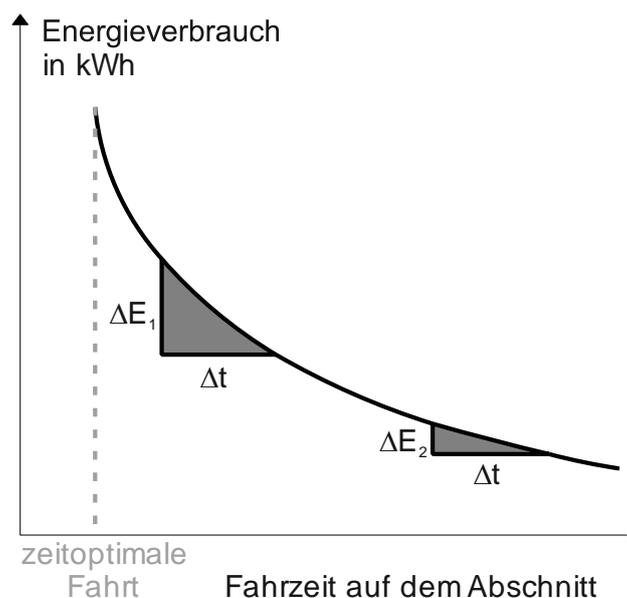


Abbildung 3.3: Abhängigkeit Energieverbrauch und Fahrzeit [9]

Die bei der Fahrplanerstellung eventuell berücksichtigten Zeitreserven sind:

- Fahrzeitreserven
  - Regelzuschlag
  - (Bauzuschlag)
- Haltezeitreserven
  - Übergangspufferzeit
  - Haltezeitschwankungen (Schwachlast und Spitzenzeiten)
- Zugfolgepufferzeiten

Bei Nutzung der Haltezeitschwankungen zur Senkung des Energieverbrauchs wird ausgenutzt, dass die Fahrgastwechselzeiten im Laufe des Tages variieren. Anstatt die gesamte veranschlagte Haltezeit in der Station zu verbringen, werden die bei der Fahrplanerstellung berücksichtigten Reservezeiten ausgenutzt. Es erfolgt eine Fahrzeitverlängerung, wodurch der Energieverbrauch gesenkt wird. [15]

Um die Haltezeitschwankungen und die daraus resultierenden Haltezeitreserven für eine energiesparende Fahrweise komplett ausnützen zu können, darf das System nicht vollautomatisch betrieben werden. Dies resultiert daraus, dass bei vollautomatischen Bahnen in der Regel eine feste Haltezeit vorgegeben ist, welche der Zug einzuhalten hat. Eine unmittelbare Reaktion auf kürzere Fahrgastwechselzeiten und somit eine Fahrzeitverlängerung kann nicht stattfinden. Die Haltezeitreserven sind nur mit Hilfe von Personal, welches den Abfertigungsvorgang durchführt, nutzbar. [9]

Weiters ist bei den Zeitzuschlägen zu beachten, inwiefern diese auf der Gesamttrasse verteilt sind. (siehe Kapitel 1.1.1 bzw. Abbildung 1.3 und Abbildung 1.4) Die Zeitreserven werden häufig so aufgeteilt, dass am Anfang der Strecke geringere und am Ende der Strecke höhere Zeitreserven vorhanden sind. [18]

Eine entscheidende Rolle bei der Anwendung von energiesparenden Fahrweisen spielen die Daten, welche kontinuierlich aktuell gehalten werden müssen. Die Einteilung der Daten ist wie folgt: [17]

- Statische Daten (Daten für Zugfahrtrechnung)
  - Fahrzeugdaten
  - Infrastrukturdaten
  - Fahrplandaten
- Dynamische Daten (Daten für kontinuierliche Überwachung)
  - Zugposition
  - Uhrzeit
  - Fahrgeschwindigkeit

Beim Projekt „Dynamisches Verkehrsmanagement“ des niederländischen Infrastrukturbetreibers ProRail wurde die Wirkung von erhöhtem Informationsaustausch zwischen Triebfahrzeugführer, Fahrdienstleiter und Betriebsleitzentrale untersucht. Dabei wurde im Praxisbetrieb aufgezeigt, dass durch ausreichend übermittelte Informationen ein Zug energiesparender fahren kann. Wird zum Beispiel einem Triebfahr-

zeugführer möglichst früh mitgeteilt, ob die weiteren Blockabschnitte frei sind und wie die Position eines vorausfahrenden Zuges ist, so kann der Triebfahrzeugführer entsprechend reagieren, um einen erhöhten Energieverbrauch bewirkenden zusätzlichen Halt auf der Strecke zu verhindern. [19]

Ein zusätzlicher Halt auf der Strecke wurde im Zuge einer Diplomarbeit an der Technischen Universität Wien auf der Strecke Südtiroler Platz und Matzleinsdorfer Platz mit Hilfe des Programms Open Track simuliert und analysiert [6]. Die Analyse dieser Simulation wird in Kapitel 3.2.3 genauer beschrieben.

Im Fernverkehr liegt der maßgebende Energieverbrauch während der Fahrt im Beharrungsvorgang. Bei U-Bahn Systemen findet der Energieverbrauch hauptsächlich im Anfahrvorgang statt. [14]

Besonders im Nahverkehr kann die Beharrungsphase durch die meist hinreichend großen Fahrzeitreserven und den kurzen Streckenlängen entfallen. Die hinreichend großen Fahrzeitreserven bewirken, dass nach der Anfahrphase sofort in die Ausrollphase gewechselt werden kann, wobei gilt, je länger die Ausrollphase ist, desto höher ist die Energieeinsparung. [14], [16]

### **Abschnitt mit konstanten Randbedingungen**

Auf Grundlage einer Fahrt zwischen zwei Halten auf einem Abschnitt mit gleicher Neigung und sich nicht ändernder maximal erlaubter Höchstgeschwindigkeit werden vier unterschiedliche Fahrweisen erläutert, welche gegenüber der straffen Fahrweise eine Reduktion des Energieverbrauches bewirken.

Durch Variation unterschiedlicher Anfahrbeschleunigungen, tatsächlichen Höchstgeschwindigkeiten und der Länge der Ausrollphase gibt es unendlich viele unterschiedliche Möglichkeiten, den Weg zwischen zwei Haltestellen innerhalb der gleichen Zeit zurückzulegen. [14]

Die nachfolgenden Fahrweisen sollen die Unterschiede der Steuergrößen Höchstgeschwindigkeit, Länge Ausrollphase und Zugkraft darstellen.

#### Fahrweise 1 - Energiesparende Fahrweise exklusive Ausrollphase

Diese Fahrweise beschleunigt mit maximaler Zugkraft auf eine reduzierte Höchstgeschwindigkeit, wodurch der Energieverbrauch sinkt und die Fahrzeit verlängert wird [15].

Dieses Verfahren wird in Verkehrsunternehmen bereits eingesetzt. Die Energieeinsparung ist geringer als bei der Fahrweise inklusive Ausrollphase unter Verwendung der maximalen Zugkraft. [9]

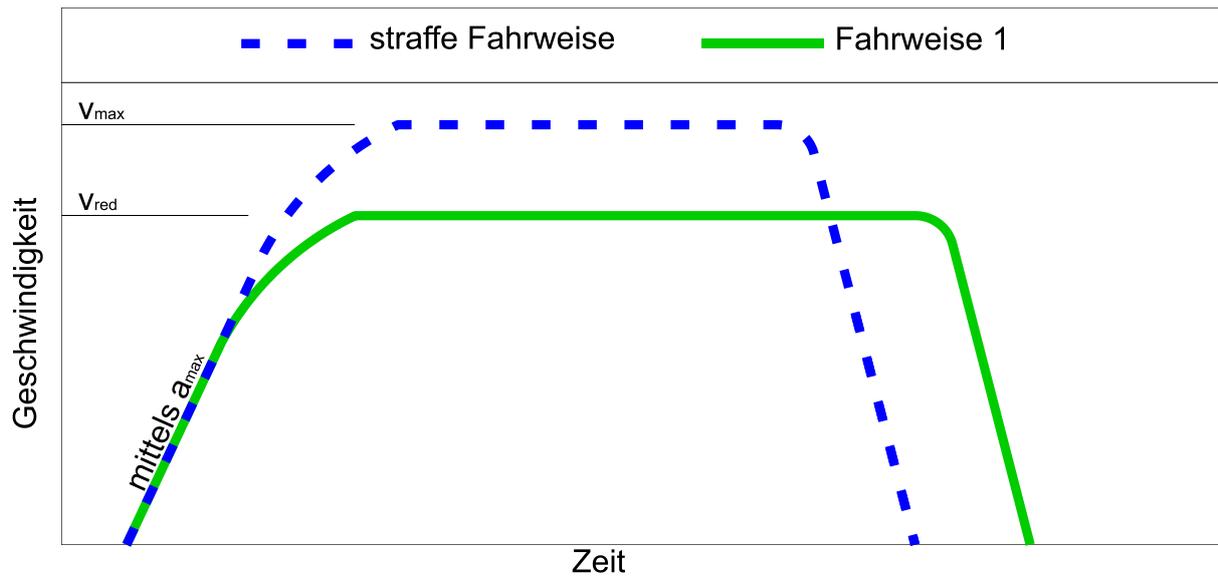


Abbildung 3.4: Energiesparende Fahrweise 1

### Fahrweise 2 - Energiesparende Fahrweise inklusive Ausrollphase, maximaler Höchstgeschwindigkeit und reduzierter Zugkraft

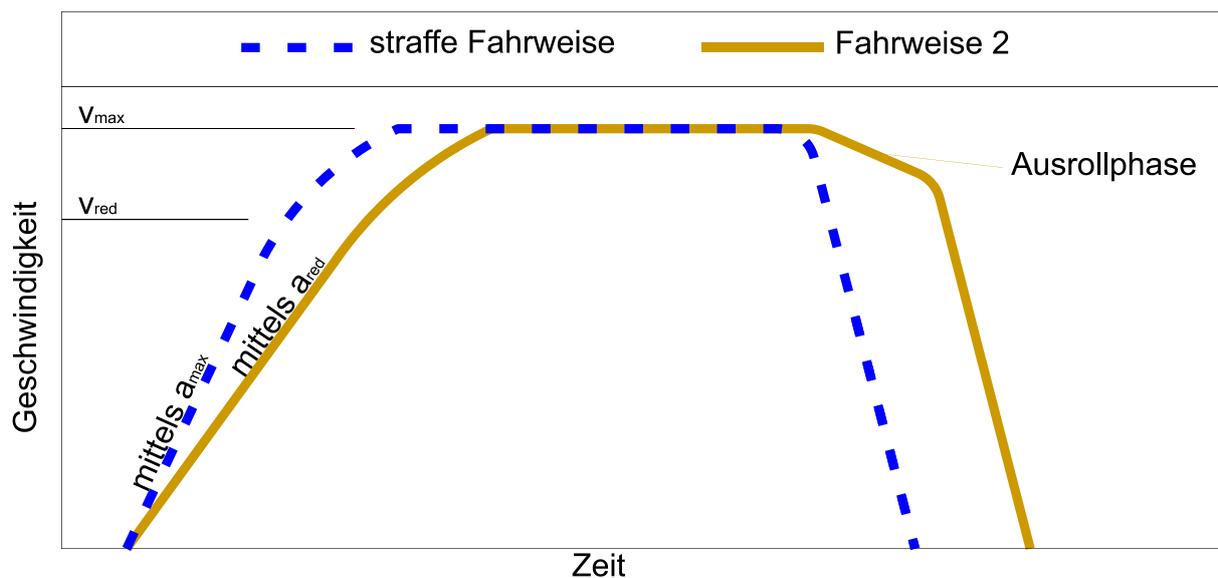


Abbildung 3.5: Energiesparende Fahrweise 2

Eine energiesparende Fahrweise inklusive Ausrollphase bietet gegenüber einer ohne Ausrollphase einen wesentlichen Vorteil, dass sich die Geschwindigkeit zum Bremsenseinsetzpunkt verringert und somit eine geringere Bremskraft notwendig ist, um zum Stillstand zu gelangen. Dies hat wiederum eine Energieeinsparung zu Folge und der mechanische Verschleiß der Bremsen wird reduziert. Die Bremsenergieerückspeicherung hingegen erfolgt in geringerem Ausmaß. Betrachtet man die gesamte Energiebilanz der Fahrweisen, so ist auch bei Vorhandensein einer regenerativen Bremse die straffe Fahrweise jene, bei welcher am meisten Energie verbraucht wird. [18]

Bei Ausführung der Fahrweise 2 ist auf Grund der reduzierten Beschleunigung die Erreichung einer höheren Geschwindigkeit nötig, um die Fahrstrecke in der vorgegebenen Zeit zu bewältigen. Dies bedeutet, dass zwar der benötigte Fahrstrom geringer ist, dieser aber im Vergleich mit einer schnelleren Beschleunigung über einen längeren Zeitraum verbraucht wird. Weiters ist die Ausrollphase gegenüber der nachfolgend erläuterten Fahrweise 3 mit reduzierter Höchstgeschwindigkeit und maximaler Zugkraft wesentlich kürzer. [14]

### Fahrweise 3 - Energiesparende Fahrweise inklusive Ausrollphase, reduzierter Höchstgeschwindigkeit und maximaler Zugkraft

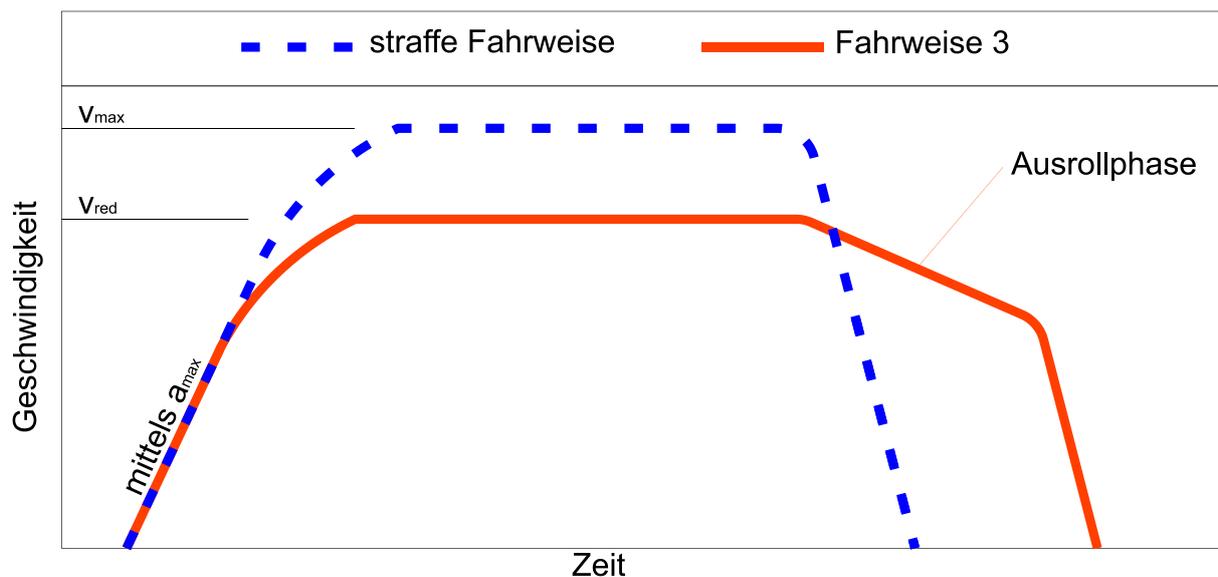


Abbildung 3.6: Energiesparende Fahrweise 3

Hinsichtlich Energieverbrauchreduktion ist es sinnvoller, mit maximal erlaubter / möglicher Zugkraft die Beschleunigung auf eine niedrigere Geschwindigkeit (Fahrweise 3) auszuführen, als mit reduzierter Zugkraft auf die maximale Höchstgeschwindigkeit (Fahrweise 2) zu beschleunigen. Durch die maximale Beschleunigung wird die Ausrollphase länger, wodurch die Energieeinsparung höher ist.

In Abbildung 3.7 sind zwei beispielhafte Fahrten mittels der beiden zuletzt behandelten Fahrweisen und deren Energieverbrauch dargestellt. Hieraus ist erkennbar, dass Fahrweise 3 einen geringeren Energieverbrauch aufweist. [14]

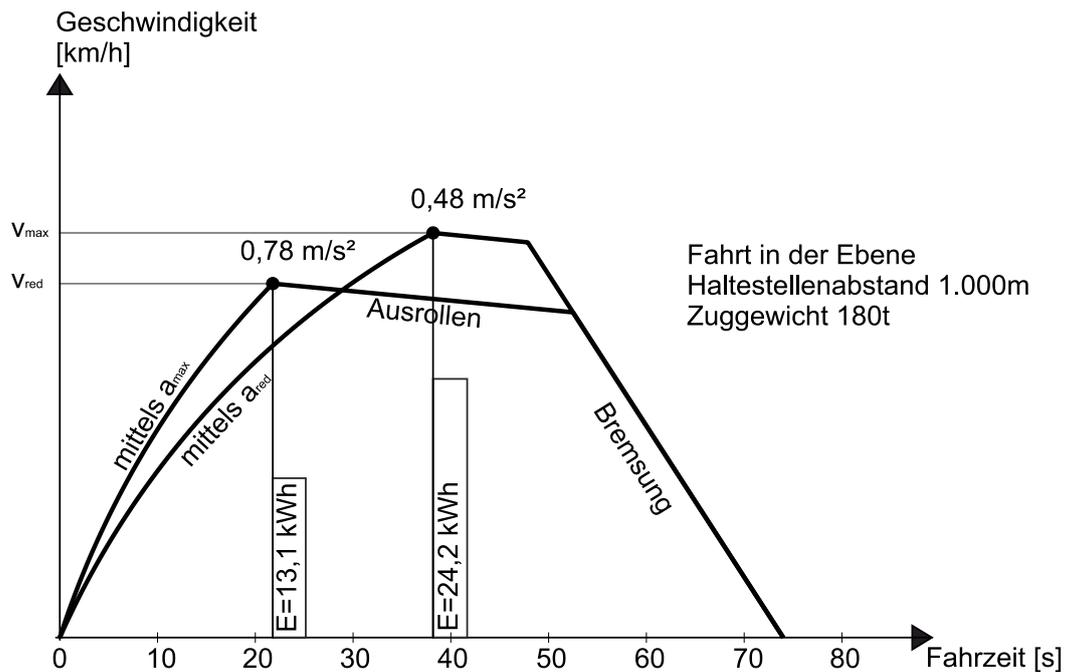


Abbildung 3.7: Anfahrbeschleunigung / Ausrollphase [14] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

#### Fahrweise 4 - Energiesparende Fahrweise inklusive Ausrollphase, maximaler Höchstgeschwindigkeit und maximaler Zugkraft

Bei dieser Fahrweise ist der Unterschied zur straffen Fahrweise, dass die Beharrungsphase auf Grund einer vorhandenen Ausrollphase kürzer ist, wodurch der Bremseinsatzpunkt eine geringere Geschwindigkeit aufweist.

Ein Vorteil der Fahrweise 4 ist, dass die Fahrempfehlung für den Triebfahrzeugführer wesentlich einfacher als bei Fahrweise 3. Die einzige Information, welche zusätzlich angezeigt werden muss, ist der Zeitpunkt des Starts der Ausrollphase, wohingegen bei Fahrweise 3 auch über die reduzierte Geschwindigkeit zu informieren ist.

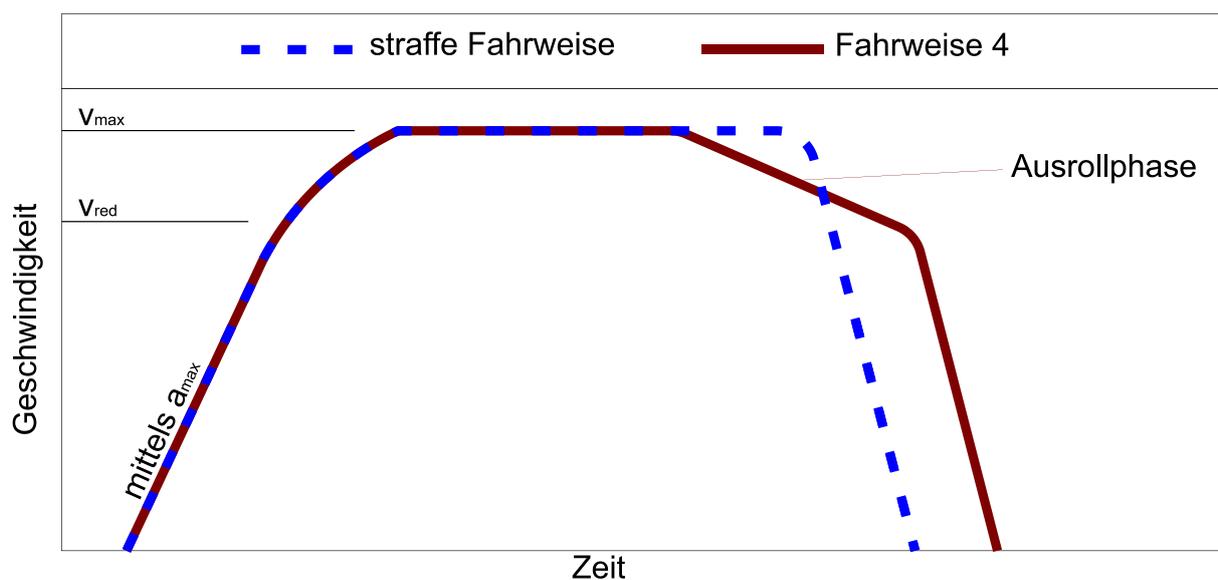


Abbildung 3.8: Energiesparende Fahrweise 4

## Zusammenfassung

Tabelle 3.1: Energiesparende Fahrweisen

Fahrweise	Höchstgeschwindigkeit	Ausrollphase	Zugkraft
1	reduzierte	exklusive	maximale
2	maximale	inklusive	reduzierte
3	reduzierte	inklusive	maximale
4	maximale	inklusive	maximale

Fahrweise 1 weist einen höheren Energieverbrauch als die Fahrweisen 3 und 4 auf. Fahrweise 2 wiederum besitzt einen höheren Energieverbrauch als Fahrweise 3. Um Energie zu sparen, ist es je nach vorhandenen Randbedingungen sinnvoll, die Fahrweisen 3 oder 4 anzuwenden.

Gemäß *Rollinger* ist es am wirtschaftlichsten den Anfahrvorgang mit maximal möglicher Anfahrbeschleunigung umzusetzen und nach Erreichen der Geschwindigkeit bis zum Bremsseinsatzpunkt das Fahrzeug rollen zu lassen. [4]

Gemäß *Linder und Baier* ist im Nahverkehr häufig Fahrweise 4 annähernd gleich effizient wie Fahrweise 3. [18]

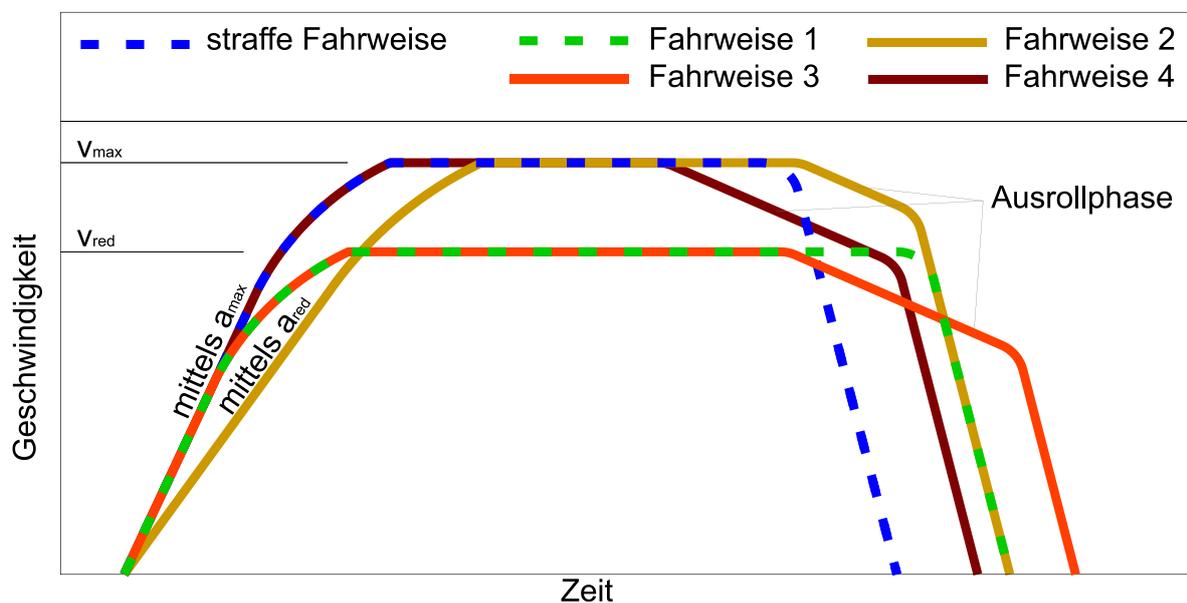


Abbildung 3.9: Fahrweisen Gegenüberstellung

### Abschnitt mit unterschiedlichen Randbedingungen

Sind starke Neigungswechsel oder unterschiedliche erlaubte Maximalgeschwindigkeiten auf dem Abschnitt vorhanden, so sind die Abschnitte wiederum in Teilabschnitte aufzuteilen und separat zu betrachten. (siehe dazu *Oettich* [16])

### 3.2.3 Zusätzliche Halte auf der Strecke

Jeder zusätzliche Halt auf der freien Strecke führt auf Grund des zusätzlich erforderlichen Brems- und Anfahrvorgangs zu höherem Energieverbrauch. Im Speziellen im Fernverkehr sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass die Blockeinteilung und die Zugfolgezeiten derart ausgeführt werden, dass kein zusätzlicher Haltevorgang nötig ist. [8]

Ein weiterer Aspekt ist, dass bei einem Halt auf der Strecke die Fahrzeit im Vergleich mit einer energiesparenden Fahrweise mit reduzierter Geschwindigkeit länger ist.

Dies wurde durch *Tanzler* beispielhaft für die Strecke Südtiroler Platz und Matzleinsdorfer Platz in Wien mittels des Programms Open Track simuliert. (siehe Abbildung 3.10 und Abbildung 3.11) Eine freie Fahrt ohne jegliche Behinderung ergab eine Fahrzeit von 1:53 min, eine Fahrt mit Halt auf der Strecke erforderte 3:00 min und eine Fahrt mit reduzierter Geschwindigkeit dauerte 2:44 min. Gegenüber dem Halt auf der Strecke ergibt sich somit bei der energiesparenden Fahrt mit reduzierter Geschwindigkeit eine Einsparung der Fahrzeit von 9%. [6]

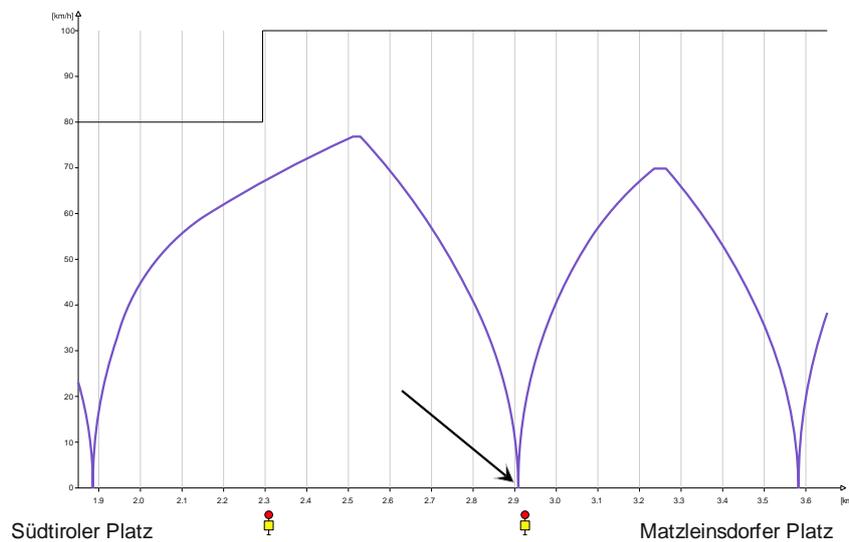


Abbildung 3.10: Fahrt mit Halt auf der Strecke [6]

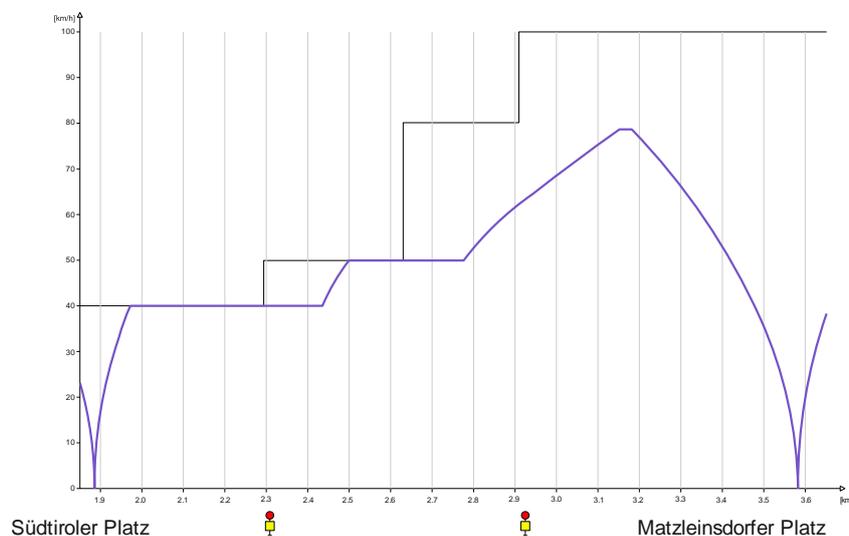


Abbildung 3.11: Fahrt mit reduzierter Geschwindigkeit [6]

Weitere Vorteile einer vorausschauenden Beeinflussung der Züge und Weitergabe der notwendigen Informationen an die Triebfahrzeugführer, um einen Halt auf der Strecke zu verhindern, sind für die einzelnen Beteiligten folgende: [20]

- Infrastrukturbetreiber
  - Erhöhung der Kapazität
  - Erhöhung der Pünktlichkeit
- Eisenbahnverkehrsunternehmen
  - Erhöhung der Anzahl der bedarfsgerechten Zugtrassen in Engpässen
  - Bessere Informationen an die Triebfahrzeugführer
  - Erhöhung der Pünktlichkeit
  - Reduktion des Energieverbrauchs
- Fahrgast
  - Erhöhung der Pünktlichkeit
  - Erhöhung der Qualität

Eine Vermeidung eines zusätzlichen Halts ist somit aus unterschiedlichsten Gründen von Vorteil.

### **3.3 Fahrweise auf gesamter Strecke**

Betrachtet man den Energieverbrauch der gesamten Strecke unter Berücksichtigung des Fahrplans, den tolerierten Abweichungen und der gewünschten Anschlussoptimierung, so kann zum Beispiel mit Hilfe der dynamischen Fahrzeitenregelung (DFZR) und der dynamischen Anschlussoptimierung der Energieverbrauch innerhalb dieser Parameter gesenkt werden.

In Abbildung 3.12 ist dargestellt, wie eine energiesparende Fahrt aussehen kann, wenn ein Anschluss trotz 2 Minuten Verspätung gewährleistet wird. In diesem Fall wird die Information der Verspätung an den Zug übertragen und dieser nutzt die Verspätungszeit als zusätzliche Fahrzeit. Der Zug wartet den verspäteten Anschluss nicht in der Haltestelle ab, sondern nutzt die zusätzliche Zeit, um weitere Energie während der Fahrt zu sparen. In diesem untersuchten Fallbeispiel konnte trotz der nach Anschlussgewährleistung durchgeführten straffen Fahrweise insgesamt eine Energieeinsparung erreicht werden. [21]

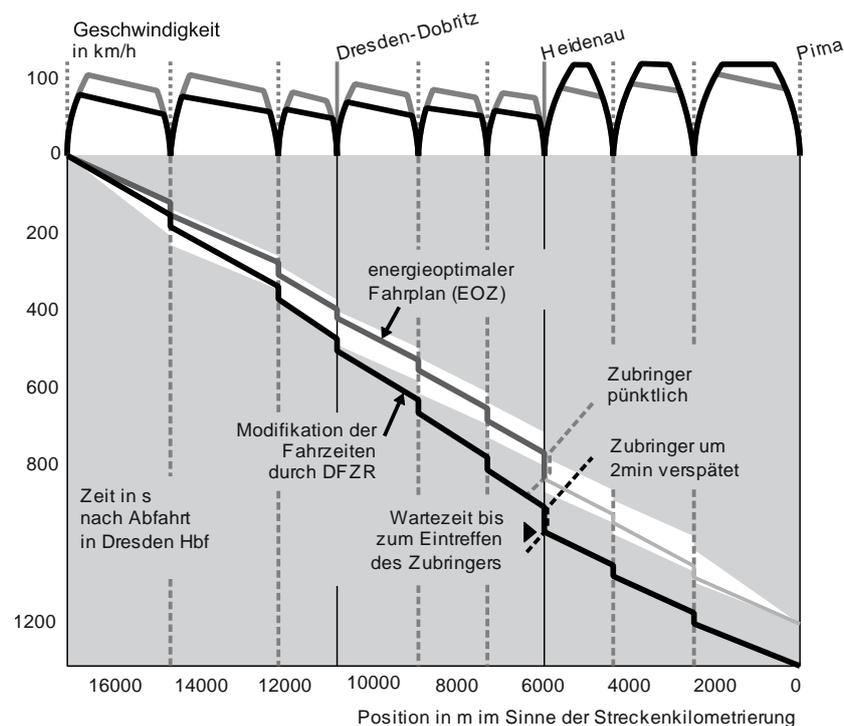


Abbildung 3.12: Energieoptimum Betrachtung gesamter Fahrweg [21]

Eine derartige Verschiebung der Trasse ist nur möglich, wenn eine ausreichend große Zugfolgezeit vorhanden ist. In der Hauptverkehrszeit würde die Berücksichtigung des verspäteten Verkehrsmittels meist zu erheblichen betrieblichen Störungen führen.

Mit Hilfe der dynamischen Fahrzeitenregelung lassen sich durch das „Spiel mit den Sekunden“ [16] wesentliche Traktionsenergieeinsparungen erreichen. Dabei werden an markanten Stationen die geforderten Ankunftszeiten berücksichtigt. Die Ankunftszeiten bei untergeordneten Halten werden durch das Fahrerassistenzsystem innerhalb eines Toleranzbereiches derart berechnet, dass der Energieverbrauch minimiert wird.

Im Allgemeinen können Fahrerassistenzsysteme dazu beitragen, dass ortsunkundige genauso wie ortskundige Triebfahrzeugführer energiesparend fahren können. Durch diese Systeme ist kein perfektes Wissen über die Strecke und den Fahrplan notwendig, um eine energiesparende Fahrweise durchführen zu können. [16]

### 3.4 Fahrweise im Gesamtsystem

#### Abstimmung Brems- und Anfahrvorgänge

Betrachtet man das gesamte System, so ist es für eine Senkung des Energieverbrauchs wichtig, die Anfahr- und Bremsvorgänge aufeinander abzustimmen. Die durch den Bremsvorgang rückgespeiste Energie kann schwer gespeichert werden und muss daher direkt nach Rückspeisung genutzt werden, zum Beispiel indem die rückgespeiste Energie eines Zuges bei einem zeitgleichen Anfahrvorgang eines anderen Zuges verwendet wird.

Ein weiterer Effekt der Abstimmung ist, dass ein drastischer Spannungsabfall im System auf Grund von vielen gleichzeitigen Anfahrvorgängen verhindert wird. Ein solcher Spannungsabfall hat meist eine Störung des Betriebsablaufs zur Folge.

Um diese Abstimmung durchzuführen, können als Steuergrößen die Fahrzeitreserve, die Haltezeitreserve und auch die Zugfolgepufferzeit verwendet werden. In Abbildung 3.13 sind die Unterschiede bei der Verwendung der Steuergrößen Fahrzeitreserve und Haltezeitreserve für die Abstimmung zwischen zwei Zügen dargestellt. [9]

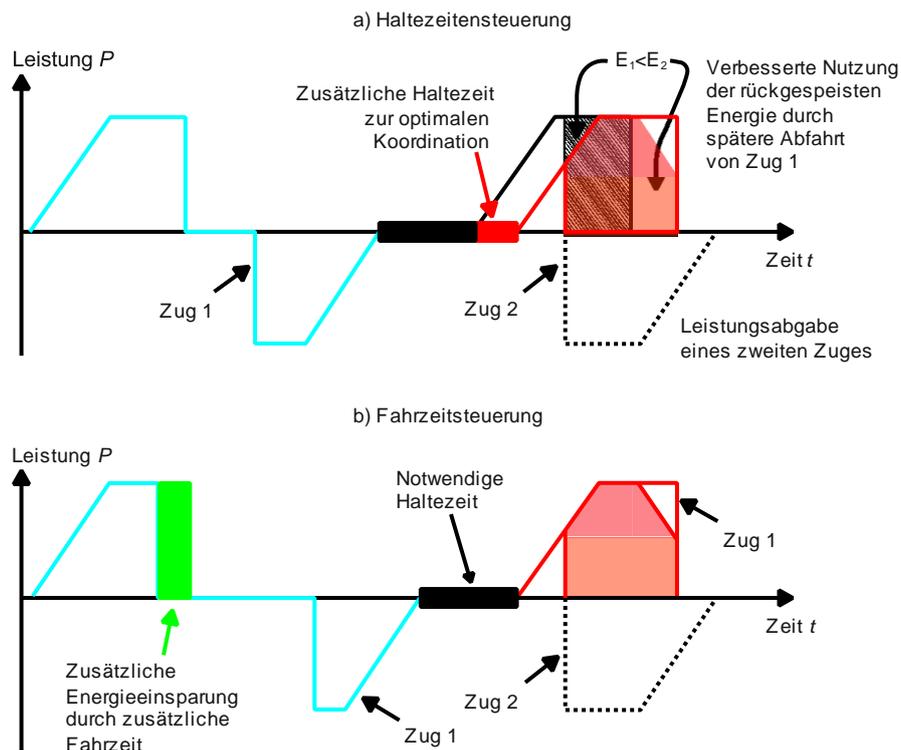


Abbildung 3.13: Unterschied Haltezeitensteuerung (o.) / Fahrzeitsteuerung (u.) [9]

### Optimale Verteilung von Zeitreserven

Die Zeitreserven von mehreren Zügen und deren optimale Verteilung wird durch *Albrecht* mit Hilfe von genetischen Algorithmen beschrieben [9]. Eine Erläuterung des genannten oder ähnlicher Verfahren würde den Umfang dieser Arbeit übersteigen, weshalb nicht näher darauf eingegangen wird.

## 3.5 Empirische Untersuchungen in der Literatur

Es existieren bereits einige Untersuchungen zum Thema der energiesparenden Fahrweisen. Im deutschsprachigen Raum sind diese zum Beispiel:

- U-Bahn: Flexible Abschaltgeschwindigkeit: Hamburger Hochbahn [14], [16]
- S-Bahn: PEFIS: Wiener S-Bahn (Linie S45) 2006: Energieeinsparungen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Fahrgastwechselzeiten im Tagesverlauf (bei Fahrplanerstellung feste Haltezeit angenommen) [22]
- Fernverkehr: ICE 1 1997 im Auftrag der Deutschen Bahn AG, fünf Monate Erprobung im Alltagsbetrieb [16], [17]

Nachfolgend werden die Methode der flexiblen Abschaltgeschwindigkeit bei der Hamburger Hochbahn, sowie die Ergebnisse einer Untersuchung hinsichtlich energiesparender Fahrweise der U-Bahn in Bangkok näher erläutert.

### 3.5.1 Flexible Abschaltgeschwindigkeit: Hamburger Hochbahn

Dem Triebfahrzeugführer wird auf einem Monitor die Abschaltgeschwindigkeit kommuniziert. Nach dem Start hat der Triebfahrzeugführer bis zur Abschaltgeschwindigkeit zu beschleunigen und anschließend das Fahrzeug bis zum Bremseneinsatzpunkt ausrollen zu lassen. Die Abschaltgeschwindigkeit wird unter Berücksichtigung der fahrplanmäßigen Lage einerseits und der tatsächlichen Lage andererseits ermittelt, wodurch ein verspäteter Zug im Vergleich mit einem fahrplanmäßigen Zug eine höhere Abschaltgeschwindigkeit mitgeteilt bekommt. Die Berechnung der Abschaltgeschwindigkeit erfolgt kontinuierlich, sodass bei einer Verzögerung der Abfahrt sich die Anzeige stetig anpasst, bis die Abfahrt tatsächlich erfolgt. Die wichtigste Randbedingung ist, dass die Züge ohne Verspätungen in der nächsten Haltestelle eintreffen. Durch Verwendung der nicht benötigten Haltestellenaufenthaltszeit wird somit eine energiesparende Fahrweise realisiert.

Drei unterschiedliche Abschaltgeschwindigkeiten und deren Auswirkungen sowohl auf den Energieverbrauch als auch auf die Fahrzeit zwischen zwei Haltestellen sind in Abbildung 3.14 dargestellt. [14]

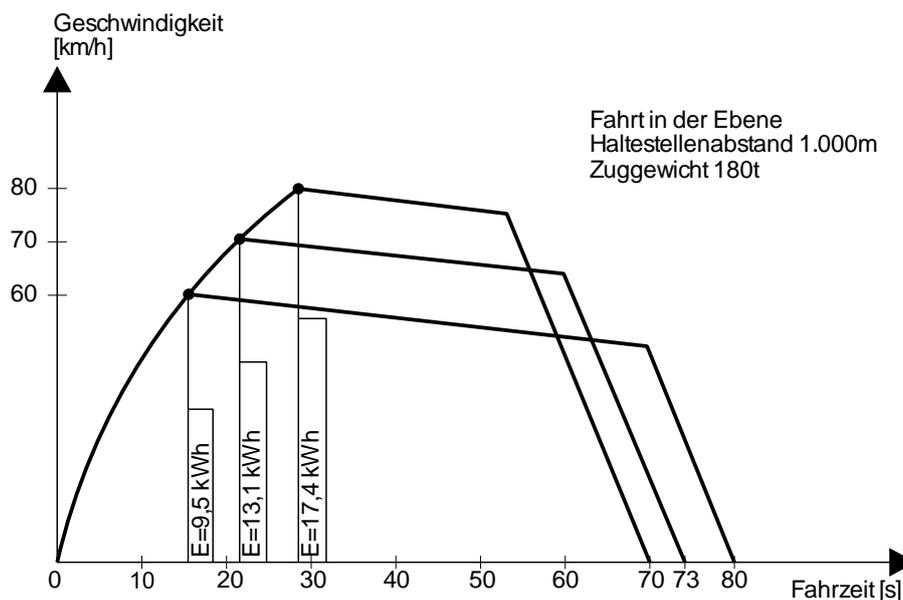


Abbildung 3.14: Abschaltgeschwindigkeit / Energieverbrauch / Fahrzeit [14]

### 3.5.2 Energiesparende Fahrweise: U-Bahn Bangkok

Bei einer Simulation mittels Originaldaten der U-Bahn Bangkok unter Berücksichtigung des Algorithmus CrCo (Cruising Coasting) und eines ATO (Automatic Train Operation) Produkts sind bei Fahrzeitreserven von 5% Energieeinsparungen von 20% ermittelt worden. Bei Fahrzeitreserven von etwa 20% sind teilweise bereits Einsparungen von 50% möglich. [23]

Hierbei versteht man unter Cruising das Fahren mit reduzierter konstanter Geschwindigkeit und unter Coasting das Ausrollen. Der Algorithmus bedient sich zur Energieeinsparung einer Kombination dieser beiden Fahrweisen. [18]

In diesem Kapitel wurden mehrere Möglichkeiten der Energieverbrauchsreduktion aufgezeigt. Die Grundidee der Nutzung nicht benötigter Zeitreserven wurde dabei mittels Gegenüberstellung von straffer Fahrweise und energiesparender Fahrweise diskutiert. Die Nutzung der Haltestellenaufenthaltszeitschwankung ist eine der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, eine energiesparende Fahrweise zu realisieren, was im folgenden Kapitel dargestellt wird.

## 4 Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeiten

Die Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeiten sind vielfältig. Nach einer detaillierten Analyse dieser Einflussfaktoren wird der Zusammenhang zwischen Einflussfaktoren und Schwankungen der Haltestellenaufenthaltszeit dargestellt.

Die Haltestellenaufenthaltszeit setzt sich aus der Verkehrs-/Betriebshaltezeit und der Abfertigungszeit zusammen. Die Verkehrshaltezeit besteht wiederum aus der Türöffnungszeit und der Fahrgastwechselzeit. Die Abfertigungszeit hingegen umfasst die Türschließzeit, die Prüf- und Fertigmeldezeit sowie die Reaktionszeit (siehe Kapitel 1.1.2).

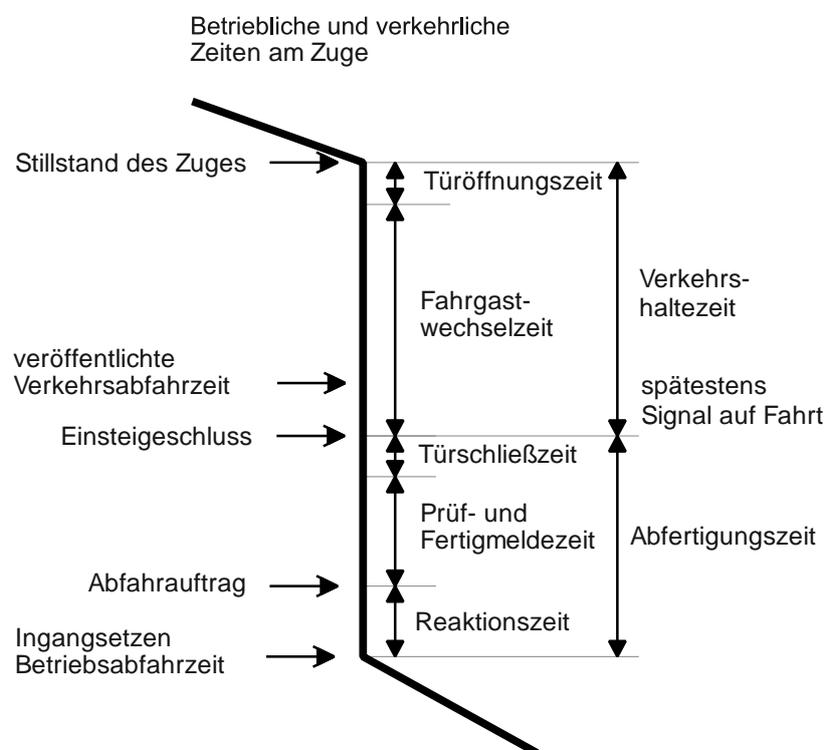


Abbildung 4.1: Aufteilung Haltestellenaufenthaltszeit [3] (leicht modifizierte Abbildung)

Der Beginn der Haltestellenaufenthaltszeit ist mit dem Anhalteruck gegeben, das Ende mit dem Anfahrruck. Die Haltezeit ist in einen konstanten Anteil und einen variablen aufgeteilt, die Fahrgastwechselzeit ist dabei der variable Anteil, der Rest der konstante. [24]

Die Fahrgastwechselzeit kann definiert werden „als die Zeit, während welcher sich Fahrgäste durch den Querschnitt einer Türe bewegen“ [24].

Die Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeit sind in folgende Hauptkategorien eingeteilt: [24]

- Einflussfaktoren verkehrlicher Art (hier: Fahrgast)
- Einflussfaktoren des Fahrzeugs
- Einflussfaktoren der Haltestelle
- Einflussfaktoren betrieblicher Art

Nachfolgend werden diese vier Einflüsse genauer beschrieben.

#### 4.1 Einflussfaktor Fahrgast

Die wichtigsten Einflussfaktoren im Bereich Fahrgast sind unterteilt in:

- Anzahl Einsteiger / Aussteiger
- Besetzungsgrad Fahrzeug
- Fahrgastzusammensetzung

Der Einflussfaktor Fahrgast beeinflusst den Anteil Fahrgastwechselzeit der Haltestellenaufenthaltszeit.

Der Einflussfaktor „**Anzahl Einsteiger / Aussteiger**“ ist ein maßgebender Faktor hinsichtlich der Auslastungsgrade der Türen, was wiederum die Fahrgastwechselzeit beeinflusst. Die Anzahl der Ein- und Aussteiger ist im Wesentlichen davon abhängig, in welchem Bereich sich die Station im Stadtgebiet befindet bzw. ob es sich um einen wichtigen Verkehrsknoten handelt oder nicht. Auch ist die Fahrgastanzahl abhängig von der Tageszeit, der Witterung etc.

Der **Besetzungsgrad im Fahrzeug** hat einen wesentlichen Einfluss auf die Dauer des Fahrgastwechsels. Ist ein hoher Besetzungsgrad vorhanden, so verlangsamen sich die Gehgeschwindigkeiten der Fahrgäste und es kommt zu Rückstauungen.

Ein hoher Besetzungsgrad hat zur Folge, dass die Stehplatzfläche im Türbereich stark belegt ist. Durch diese Belegung verengt sich der Türquerschnitt und die Leistungsfähigkeit der Türe wird herabgesetzt, was wiederum eine Verlängerung der Fahrgastwechselzeit an solchen Türen zur Folge hat.

Bei einer Verspätung eines Zuges erhöht sich der Besetzungsgrad von Haltestelle zu Haltestelle. Das Ein- und Aussteigen erfolgt bereits nur auf Grund des Besetzungsgrades langsamer. Beachtet man, dass zusätzlich eine höhere Anzahl an Ein- und Aussteigern vorhanden ist, so verlängert sich die Fahrgastwechselzeit wesentlich. Es kommt zu einer Aufschaukelung der Verspätung. [24]

Die Fahrgastwechselzeit besitzt eine sehr hohe Schwankungsbreite. Maßgeblich dabei ist die **Fahrgastzusammensetzung**. Setzen sich zum Beispiel die Fahrgäste aus mehreren mobilitätsbeeinträchtigten Personen zusammen, so ist die Fahrgastwechselzeit um ein Vielfaches höher, als wenn keine beeinträchtigten Personen ein- bzw. aussteigen.

Im Jahr 2009 wurde von der Forschungsgesellschaft Mobilität ein Leitfadens für barrierefreien öffentlichen Verkehr herausgegeben. Dieser beinhaltet Empfehlungen zur Ausbildung von Haltestellen und Fahrzeugen, weiters werden die Punkte Fahrgast-

service, Information und betriebliche Organisation behandelt. In diesem Leitfaden werden Personen mit Beeinträchtigungen, welche die Mobilität einschränken, unter dem Begriff „People with Reduced Mobility“ (kurz: PRM) zusammengefasst. [1]

Unter diesem Begriff sind unter anderem folgende Personen zu verstehen: [1]

- Personen mit körperlichen Gebrechen
- Personen mit Behinderungen
- Personen mit Kindern
- Personen mit schwerem und sperrigem Gepäck
- Ältere Personen
- Sehbehinderte Personen
- Hörbehinderte Personen

Eine Beeinträchtigung der Mobilität beeinflusst in hohem Maße den Faktor Fahrgastwechselzeit, dessen wesentlichsten Einflussparameter sind: [25]

- Behinderungen
- Alter
- Gepäck

Je nach Alter des Fahrgasts erfolgt der Einstieg bzw. Ausstieg in unterschiedlicher Geschwindigkeit. Ein Kind unter ca. sieben Jahren wird vor allem auf Grund seiner Körpergröße länger benötigen. Hingegen liegt der Grund für die langsamere Bewegungsgeschwindigkeit bei älteren Personen in schwindenden Körperkräften. [24]



**Abbildung 4.2: Einsteigevorgang von Kindern**

Bei mittleren bis großen Gepäckstücken kann sich die Fahrgastwechselzeit auf bis zu das Dreifache erhöhen. [24]

## 4.2 Einflussfaktor Fahrzeug

Im Bereich Fahrzeug sind die wichtigsten Einflussfaktoren weiter unterteilt in:

- Türbewegungszeit
- Türanordnung und Türanzahl
- Einstiegsbereich
  - Türleistungsfähigkeit
  - Türbreite
  - Größe des vertikalen Spaltes zwischen Bahnsteig und Fahrzeug
  - Größe des horizontalen Spaltes zwischen Bahnsteig und Fahrzeug
  - Stufenausbildung
  - Spaltüberbrückung
  - Auffangräume
- Innenraumgestaltung
  - Ausstattung
  - Türwahl Aussteigende
  - Fahrgastfluss im Fahrzeug

Unter dem zuvor aufgelisteten Einstiegsbereich versteht man die Türen, die eventuell vorhandenen Stufen und den Auffangbereich. Unter dem Fahrzeuginnenraum wird der Sitzbereich inklusive der dazwischen liegenden Gänge verstanden.

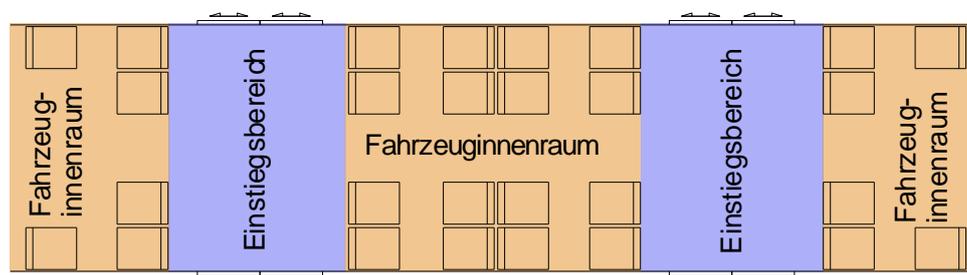


Abbildung 4.3: Einstiegsbereich / Fahrzeuginnenraum

Im Bereich Fernverkehr wurde an der Technischen Universität Wien eine Studie durchgeführt, bei der die Fahrgastwechselzeit im Hinblick auf die Fahrzeuggestaltung untersucht wurde. Ergebnis war, dass bei einer optimierten Fahrzeuggestaltung im Durchschnitt die Haltestellenaufenthaltszeit auf unter ein Drittel gesenkt werden kann.

Im Zuge dieser Studie konnte weiters ermittelt werden, dass bei bis zu etwa zehn hintereinander einsteigenden Personen die Ausbildung des Einstiegsbereichs sowie das Alter, das Reisegepäck oder andere beeinflussende Fahrgasteigenschaften den maßgebenden Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit darstellen. Bei mehr als zehn Einsteigenden wird der Einfluss des Fahrzeuginnenraumes immer wichtiger. [25]

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über die Auswirkungen der Türbewegungszeit, der Türanordnung, der Türanzahl, sowie der Ausbildung der Einstiegsbereiche und der Innenraumgestaltung im Hinblick auf den Nahverkehr gegeben.

### 4.2.1 Türbewegungszeit / Türanordnung / Türanzahl

Die Türbewegungszeit ist der fixen Haltestellenaufenthaltszeit zuzuordnen. Diese Zeit ist in jeder Haltestelle bei gleichem Fahrzeug dieselbe. Sie ist abhängig vom Türsystem und kann somit lediglich bei Wahl des Fahrzeugtyps berücksichtigt und beeinflusst werden. [24]

Die Türanordnung ist ideal, wenn sie zu einer gleichmäßigen Verteilung der Fahrgäste im Fahrzeug führt. Die gleichmäßige Verteilung der Fahrgäste ist jedoch nicht nur von der Türanordnung abhängig sondern auch von vielen anderen Faktoren, wie zum Beispiel die Verteilung der Fahrgäste auf dem Bahnsteig und dem dadurch vorab gewählte Bereich des Einstiegs. Durch eine optimierte Türanordnung, welche den Besetzungsgrad entlang der Linie und die vorab gewählten Einstiegsbereiche berücksichtigt, kann die Fahrgastwechselzeit maßgeblich beeinflusst werden.

Sind einzelne Türen eines Zugs überlastet, so weicht der Fahrgast selten zur nächsten Tür aus. Das Risiko, dass sich die Ausweichtüre vor ihm schließt, will der Fahrgast meist nicht eingehen. Die Bereitschaft auf eine Ausweichtüre zu wechseln hängt sehr stark von der Türverriegelungsart ab. Bei Fahrzeugen mit Zwangsschließung ist die Wechselbereitschaft sehr gering, der Fahrgast nimmt lieber einen Aufenthalt in einem überfüllten Fahrzeugbereich in Kauf, als den Zug zu verpassen. [24]

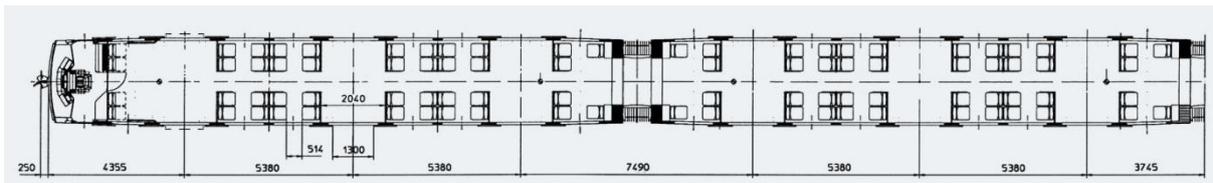


Abbildung 4.4: Siemens V-Wagen [26]

Werden auf der Linie unterschiedlich lange Züge eingesetzt, so werden die am Ende liegenden Türen stärker benutzt als die in der Mitte liegenden. Auf eine ausreichend hohe Türleistungsfähigkeit ist folglich zu achten.

Generell gilt, dass viele schmale Türen eine geringere Fahrgastwechselzeit hervorrufen als wenige breite Türen, auch wenn in beiden Fällen in Summe die gleiche Türbreite vorhanden ist. [24]

### 4.2.2 Einstiegsbereich

*„Bei der Türleistungsfähigkeit handelt es sich um den Kehrwert der - > mittleren Fahrgastwechselzeit. Sie gibt die Zahl der Fahrgäste an, welche pro Sekunde ein Fahrzeug besteigen oder verlassen können.“*

Definition Türleistungsfähigkeit gemäß Weidmann [24]

Sowohl die Fahrgastwechselzeit als auch die **Türleistungsfähigkeit** kann auf einen ganzen Zug oder auf eine einzelne Tür bezogen werden.

Ist der Fahrgastzustrom ins Fahrzeug größer als der Fahrgastabfluss, so ist die Türleistungsfähigkeit geringer als erforderlich und es bildet sich ein Rückstau. Die Fahrgastwechselzeit an solch einer Tür wird entweder durch das Ende des Abbaus des

Rückstaus beendet oder durch das Eintreffen des letzten Fahrgastes nach Abbau des Rückstaus an dieser Tür. [24]

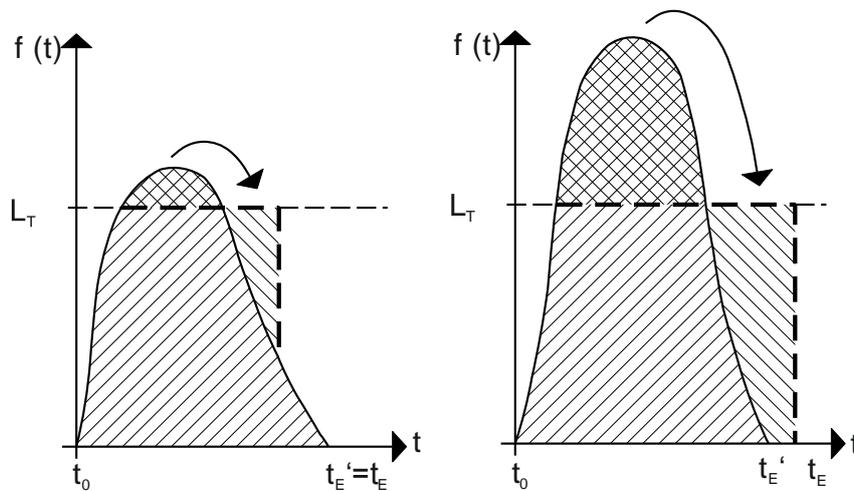


Abbildung 4.5: Fahrgastzustrom (li.) / Abbau Rückstau maßgebend (re.) [24]

Früher wurde die Theorie vertreten, dass die Türleistungsfähigkeit sprunghaft mit den Türspuren ansteigt. Dies würde bedeuten, dass eine **Türbreite** von etwa 1,4 m die doppelte Türleistungsfähigkeit hat als eine einspurige mit einer Breite von 0,7 m. Eine Breite zwischen 0,7 m und 1,4 m wiederum hätte nur eine einfache Türleistungsfähigkeit. Zeitlich später durchgeführte Untersuchungen zeigen allerdings auf, dass die Türbreiten keinen sprunghaften Einfluss auf die Türleistungsfähigkeit haben. Als Beispiel wird angeführt, dass der Einstieg von Fahrgästen bei einer eineinhalbspurbreiten Türe versetzt und mit kleinerem Abstand zueinander erfolgt, weshalb eine höhere Türleistungsfähigkeit gegenüber einer einspurigen Türe vorhanden ist.

*Weidmann* hat mittels des Programms ACoST.NeXT ein Optimum der Einstiegsbreite von etwa 0,65 m ermittelt. Bei der zugrundeliegenden Berechnung wurden nachfolgende Annahmen festgelegt:

- Kurslänge von 50 und 100 m
- Türbreite gesamt von 5 und 10 m
- Spezifische Türbelastung von 50 Personen/m Türbreite
- Gleichmäßige Fahrgast- und Türverteilung
- Kein vertikaler Spalt

Demzufolge entsprechen die aufsummierten Türbreiten 10% der Zuglänge. Der im Wiener U-Bahn System eingesetzte V-Zug weist eine gesamte Türbreite von 20% Zuglänge auf. Werden diese beiden Kennzahlen miteinander verglichen, so ist zu vermuten, dass der Berechnung ein S-Bahn Zug zugrunde liegt und kein U-Bahn Zug. Die Ergebnisse können dementsprechend nicht direkt auf das U-Bahn System angewendet werden.

Die von *Weidmann* durchgeführte Berechnung zeigt weiters auf, dass ab einer Türbreite von etwa 1,00 m eine Verringerung der Breite keine wesentliche Reduktion der Fahrgastwechselzeit nach sich zieht. Dahingegen steigt bei gleicher spezifischer Türbelastung die Fahrgastwechselzeit bei Türbreiten über 1,25 m derart stark an,

dass diese breiteren Türen wegen anderer wichtiger Gründe erforderlich sein müssen.

Besonders im Nahverkehr wird der Einsteige- und Aussteigevorgang auf Grund der Fahrgäste, welche in Nähe der Türen stehen, verlängert, denn durch die stehenden Fahrgäste wird der Querschnitt des Durchflusses verringert. Diese Fahrgäste stellen somit Hindernisse bei diesen Vorgängen dar. [24]

Unter den wichtigsten **Einstiegshindernissen** wird in dieser Arbeit der vertikale Spalt zwischen Bahnsteig und Fahrzeug, die Größe des horizontalen Spaltes zwischen Bahnsteig und Fahrzeug sowie eventuell vorhandene Stufen verstanden.

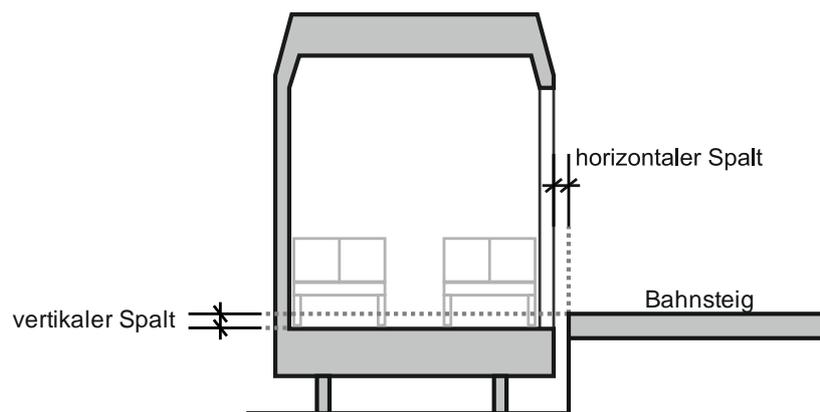


Abbildung 4.6: Schema Einstiegshindernisse Spalt

Wie die Türbreite hat auch die zu überwindende Höhendifferenz zwischen Bahnsteigoberkante und Fahrzeugbodenoberkante einen Einfluss auf die Türleistungsfähigkeit. Um diesen Einflussfaktor möglichst gering zu halten, sind Fahrzeuge und Bahnsteighöhe aufeinander abzustimmen. Da es sich beim U-Bahn System um ein geschlossenes System handelt, ist dies im Vergleich mit anderen schienengebundenen Systemen einfacher zu berücksichtigen. Für den Fahrzeugkonstrukteur ist ein hochfluriges Fahrzeug am besten, weshalb in U-Bahn Systemen die Bahnsteige meist erhöht ausgeführt werden. [24]

Die möglichst barrierefreie Ausbildung des Einstiegs ist hinsichtlich der Minimierung der Fahrgastwechselzeit die beste Variante. Bei Fahrgästen ohne jegliche Behinderung auf Grund Gepäck, Alter oder Ähnliches wäre die barrierefreie Ausbildung gegenüber der Ausbildung mit einer einzelnen Stufe im Hinblick auf eine kürzere Fahrgastwechselzeit nicht nötig. Dies resultiert daraus, dass der erste Schritt auf Grund des stets vorhandenen horizontalen Spaltes zwischen Bahnsteigkante und Fahrzeugkante bereits eine erhöhte Aufmerksamkeit des Fahrgastes erfordert. Die vorhin erwähnte Studie der Technischen Universität Wien hinsichtlich Fahrgastwechselzeiten zeigte auf, dass sowohl beim Einstieg mit Stufe als auch beim Einstieg ohne Stufe dieselben Zeiten notwendig waren. Eine barrierefreie Ausbildung ist trotzdem anzustreben, sodass auch der Fahrgastwechsel von PRM möglichst schnell vonstatten gehen kann. Das einfache Beispiel eines Fahrgasts im Rollstuhl verdeutlicht, dass die Ausbildung einer Stufe zu einer erhöhten Fahrgastwechselzeit gegenüber der barrierefreien Ausbildung führt. [25]



Abbildung 4.7: barrierefreie Einstiegsausbildung ohne Stufe, sowie Spaltüberbrückung mittels Trittbrett

Die Ausbildung eines Einstiegs mit Stufen kommt im Nahverkehr bei Straßenbahnen und S-Bahnen vor, bei U-Bahnen ist dies heutzutage sehr selten der Fall. Sind Stufen vorhanden, so sind diese ergonomisch sinnvoll auszubilden, um die Fahrgastwechselzeit nicht zusätzlich unnötig zu verlängern.

Treten Angstgefühle auf und/oder wird der Bewegungsablauf des Fahrgasts auf Grund des horizontalen Spaltes zwischen Bahnsteigkante und Fahrzeug gestört, so ist eine weitere Verlängerung der Fahrgastwechselzeit zu erwarten. Bei Spaltbreiten von ca. 50 bis 100 mm ist lediglich mit einem sehr geringen bis keinem Einfluss zu rechnen, auch für gehbehinderte Personen stellen diese Breiten keine bzw. lediglich geringe Schwierigkeiten dar. Sind Spaltbreiten über 200 mm vorhanden, so ist eine wesentliche Erhöhung der Fahrgastwechselzeit erkennbar. [24]

Der Spalt zwischen Bahnsteigkante und Fahrzeug ist konstruktiv nicht vermeidbar, die Größe kann jedoch stark variieren. Sind Haltestellen in engen Bögen situiert, so ist auf Grund der Sehnenstellung der Wagen der Spalt im Vergleich zu Haltestellen in einer Geraden an bestimmten Stellen stark vergrößert. [25]

Wie in Abbildung 4.7 dargestellt, kann dem vertikalen Spalt mit Hilfe einer Spaltüberbrückung entgegen gewirkt werden.

Um die Einstiegssituation hinsichtlich der Einstiegshindernisse zu optimieren, müssen sowohl die vertikal als auch die horizontal zu überwindenden Hindernisse gemeinsam betrachtet werden, die horizontalen Spaltbreiten können nicht von den vertikalen separat behandelt werden. [24]

**Auffangräume** sind derart auszubilden, dass der Fahrgastfluss nicht behindert wird. Die Auffangräume bieten die Möglichkeit einen eventuell auftretenden Rückstau, wenn dieser zum Beispiel auf Grund geringer Bewegungsgeschwindigkeiten innerhalb des Fahrzeuges auftritt, aufzunehmen. Ist der Rückstau auf das Fahrzeug begrenzt und tritt nicht auf den Bahnsteig über, so kann das Fahrzeug abfahren und sich der Rückstau während der Fahrt im Inneren gegebenenfalls auflösen. Eine aus-

reichende Bemessung des Auffangraumes hat bei einer hohen Auslastung einen wesentlichen Einfluss auf die Haltestellenaufenthaltszeit. [27]



Abbildung 4.8: Auffangraum eines Siemens V-Wagens am Anfang und Ende des Zuges

### 4.2.3 Innenraumgestaltung

Auch die Innenraumgestaltung übt einen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit aus, denn sie beeinflusst die Geschwindigkeit der Fahrgäste im Inneren des Fahrzeuges und deren Wahl für einen Sitz- oder Stehplatz.

Die **Innenraumausstattung** ist im Speziellen für ältere und gebrechliche Personen sehr wichtig. Da diese die Längs- und Querschleunigungen beim Gehen oder Stehen nur schwer aushalten können, benötigen sie einen Sitzplatz, welcher sich in der Nähe der Türe befindet. Bei anderen Fahrgästen erfolgt die Wahl hinsichtlich Steh- oder Sitzplatz auf Grund der individuellen und zu dem Zeitpunkt vorhandenen Komfortwünschen. Legt ein Fahrgast lediglich eine kurze Strecke mit dem Fahrzeug zurück, so ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass dieser stehen bleibt, als bei einer längeren Fahrtstrecke. Auch wird der Fahrgast seinen Stehplatz in unmittelbarer Nähe zur Türe nicht verlassen, je kürzer seine Fahrt dauert. [24]

Um die Fahrgäste auf ihren Ausstieg rechtzeitig vorzubereiten, ist die Weitergabe von Informationen wichtig, wobei möglichst alle Fahrgäste die Informationen erhalten und diese auch verarbeiten können müssen. Es ist dabei für die Benützung des ÖV wichtig, dass das Mehrsinnprinzip angewendet wird, sodass auch PRM ungehindert den ÖV benutzen können. Es ist prinzipiell bei der Informationsweitergabe im ÖV immer darauf zu achten, dass zumindest das 2-Sinne-Prinzip angewandt wird (zum Beispiel sehen-hören, sehen-tasten). Die optimale Lösung ist die Anwendung des 3-Sinne-Prinzips (sehen-hören-tasten). [1]

Sehr wichtig ist der Zeitpunkt, zu dem die Informationen weitergegeben werden. Dies hat derart zu erfolgen, dass die Fahrgäste rechtzeitig zum Ausstieg gelangen. Die Zeitdauer, welche vor der Türe gewartet wird, hat die maximal akzeptierte Dauer des Stehens nicht zu überschreiten.

Sehr viele Aussteigende wählen die am nächsten gelegene Türe. Die **Türwahl** von Aussteigenden mit einer hohen Systemkenntnis begründet sich oftmals durch die Nähe der Türe zum Ausgang an der Zielhaltestelle.

Beim Aussteigevorgang kann der **Fahrgastfluss im Inneren des Fahrzeugs** auf Grund der Ausbildung der Sitzgelegenheiten und der Gänge maßgebend für die Fahrgastwechselzeit sein. Dies tritt insbesondere dann auf, wenn die mögliche Bewegungsgeschwindigkeit im Inneren des Fahrzeugs derart gering ist, dass die Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs kleiner ist als die Türleistungsfähigkeit. Analog ist dies auch auf den Einsteigevorgang umzulegen, denn sind die Abflussverhältnisse derart gering bemessen, dass die Leistungsfähigkeit im Inneren geringer als die Türleistungsfähigkeit ist, so wird ein Rückstau auftreten. Dieser Rückstau kann sich lediglich auf das Innere des Fahrzeuges oder auch bis auf den Bahnsteig auswirken. Um dies zu verhindern, ist die Türleistungsfähigkeit mit der Leistungsfähigkeit im Inneren des Fahrzeugs abzustimmen.

Weiters können auch zum Beispiel enge Platzverhältnisse im Fahrzeug auf Grund der Ausstattung oder auf Grund eines hohen Besetzungsgrades dazu führen, dass langsamere Fahrgäste nicht überholt werden können und es zu einer Erhöhung der Fahrgastwechselzeit kommt. [24]



Abbildung 4.9: Innenraumgestaltung eines Siemens V-Wagen

Die Ausbildung des Fahrzeuginnenraumes im Fernverkehr wurde in der Studie der Technischen Universität Wien ausgiebig untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie können allerdings nicht auf den U-Bahn Betrieb umgelegt werden. Der Faktor Gepäck ist im Fernverkehr maßgebend, wohingegen Gepäck im ÖPNV eine untergeordnete Rolle spielt. Auch suchen sich die Fahrgäste im Fernverkehr einen Sitzplatz und wechseln gegebenenfalls den Waggon, sollte kein „geeigneter“ Sitzplatz in dem Wagon in dem sie eingestiegen sind, vorhanden sein. Im ÖPNV ist dies nur in Ausnahmefällen der Fall, der Fahrgastfluss ist dadurch ein anderer. [25]

Ein weiterer Unterschied zwischen Fernverkehr und Nahverkehr ist, dass die Gangflächen im Fernverkehr selten als Stehplatzflächen verwendet werden. Der Fahrgast-

fluss ist nach dem Einstiegsbereich ein besserer als im Nahverkehr. Tritt ein hohes Fahrgastaufkommen auf und führen viele Fahrgäste ein Gepäckstück mit sich, so wird meist ein Rückstau produziert. Dieser kommt durch Fahrgäste zustande, die im Gang stehen, um ihr Gepäck zu verstauen und ihren Sitzplatz zu finden.

Weiters erfolgt der Fahrgastfluss im Inneren auch zum Ausgleich zwischen über- und unterbelasteten Bereichen, aber dieser Ausgleich ist nur sehr gering. Dies liegt daran, dass Fahrgäste eine Überbelegung oft nicht als derart schlimm empfinden, dass sie ihren derzeitigen Platz aufgeben würden, um sich einen neuen zu suchen. Oftmals ist auch das Wissen nicht vorhanden, ob sich unterbelastete Bereiche im Fahrzeug befinden oder nicht. [24]

#### 4.2.4 Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit

Gemäß der Veröffentlichung „Abschätzung der Haltestellenaufenthaltszeiten im Nahverkehr“ führen nachfolgende von *Lehnhoff und Janssen* gegebene Empfehlungen im Hinblick auf das Fahrzeug zu einer Optimierung der Fahrgastwechselzeit. [28]

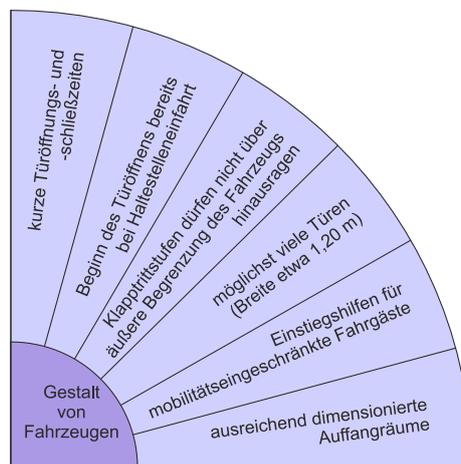


Abbildung 4.10: Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit: Fahrzeug [28] (leicht modifizierte Abbildung)

### 4.3 Einflussfaktor Haltestelle

Die wichtigsten Einflussfaktoren im Bereich Haltestelle sind wie folgt gegliedert:

- Größe des vertikalen Spaltes zwischen Bahnsteig und Fahrzeug (siehe Kapitel 4.2.2)
- Spaltüberbrückung (siehe Kapitel 4.2.2)
- Haltestellenausbildung
  - Bahnsteigmarkierungen Türen
  - Bahnsteigtüren
  - Zugangsverhältnisse
  - Haltestellenausstattung
  - Platzverhältnisse
  - barrierefreie Ausbildung
  - Bahnsteiganordnung
  - Zwillingsbahnsteige

Da der vertikale Spalt zwischen Bahnsteig und Fahrzeug sowie die Spaltüberbrückung bereits im Bereich der Einflussfaktoren Fahrzeug behandelt wurden, werden diese hier nicht wiederholt beschrieben.

### 4.3.1 Haltestellenausbildung

Vergleicht man den Fernverkehr mit dem Nahverkehr, so ist festzustellen, dass die Fahrgäste im Nahverkehr bereits vor dem Anhalteruck sich in Richtung Türe bewegen, im Fernverkehr hingegen starten sie oft erst nach dem Anhalteruck.

Trotz dieses Systemunterschieds benötigt ein Fahrgast auch im Nahverkehr eine gewisse Zeit, bis die Türe erreicht ist und der Fahrgastwechsel starten kann. Um diese Zeit zu verkürzen, ist bereits am Bahnsteig zu kennzeichnen, in welchen Bereichen die Türen halten, wobei eine solche **Markierung am Bahnsteig** dann sinnvoll ist, wenn lediglich wenige, am besten nur eine Art von Fahrzeug auf der Strecke eingesetzt wird. Werden unterschiedlich lange Fahrzeuge eingesetzt, so empfiehlt sich eine Kennzeichnung des Zugendes am Bahnsteig, um möglichst zu verhindern, dass Fahrgäste außerhalb des Haltebereiches des Fahrzeugs warten. [24]

Bei Verwendung von **Bahnsteigtüren** ist bereits vor Eintreffen des Zugs dem Fahrgast bewusst, wo die Fahrzeugtüren sein werden und kann somit gezielt – bereits vor dem Öffnen der Türen – an der richtigen Stelle warten. Bei Bahnsteigtüren muss im Gegensatz zu Markierungen am Boden der Zug exakt an der richtigen Stelle zum Stehen gelangen. Diese bei Verwendung von Bahnsteigtüren grundlegende Bedingung für einen funktionierenden Betrieb führt dazu, dass eine kurze Schleichfahrzeit bis zum Erreichen der exakten Halteposition erforderlich ist. Diese Zeit tritt zwar vor dem Anhalteruck auf und ist somit nicht Bestandteil der Haltestellenaufenthaltszeit, darf jedoch im Gesamtsystem nicht vernachlässigt werden.



Abbildung 4.11: Markierungen am Bahnsteig bzgl. Türbereiche

Sind im System unterschiedliche Fahrzeuge anzutreffen bzw. werden unterschiedlich lange Züge verwendet, so sind diese nicht nur am Bahnsteig zu kennzeichnen, sondern auch durch visuelle / akustische Informationen an die Fahrgäste vor Eintreffen des Zuges weiterzugeben. Durch diese Informationsweitergabe wird die Fahrgast-

wechselzeit verringert, weil sich die Fahrgäste bereits auf die entsprechenden Rahmenbedingungen vorbereiten können.

Da Fahrgäste in der Regel die ihnen am nächsten gelegene Türe benutzen, ist bei der Haltestellengestaltung darauf zu achten, dass sich die Fahrgäste gleichmäßig verteilen. Durch eine gleichmäßige Verteilung der Fahrgäste bereits auf dem Bahnsteig wird eine gleichmäßigere Verteilung der Türbenutzung ermöglicht und somit die Fahrgastwechselzeit minimiert.

Die Ausbildung der Einstiegshaltestelle ist dabei maßgebend für die Wahl des Warteplatzes und somit der Einstiegstüre. [24]

Kriterien für die Wahl des Warteplatzes eines Fahrgastes sind vielfältig, diese können unter anderem sein: [24]

- **Zugangsverhältnisse**
- **Haltestellenausstattung**
- **Platzverhältnisse**

Die wartenden Fahrgäste wählen gerne einen Warteplatz in der Nähe der Zugänge. Die Situierung der Treppen, Lifte etc. beeinflusst folglich die Verteilung, auch Plätze in der Nähe von Informationseinrichtungen, Fahrkartenautomaten, Kiosken, Sitzgelegenheiten, Wetterschutzeinrichtungen udgl. werden bevorzugt ausgewählt.

Der Fahrgastabfluss der Aussteigenden wird sowohl durch die einsteigenden Personen als auch durch Einbauten und die Ausstattung auf dem Bahnsteig beeinflusst. Alle Personen oder auch Dinge welche den Fahrgastabfluss behindern beeinflussen die Fahrgastwechselzeit im negativen Sinne. Die Ausstattung des Bahnsteiges hat somit nicht nur einen Einfluss auf die Fahrgastverteilung, sondern auch auf den möglichen Fahrgastabfluss der Aussteigenden.

Neben der Ausbildung der Einstiegshaltestelle beeinflusst auch die Systemkenntnis der Fahrgäste deren Verteilung. Systemvertraute Fahrgäste wählen ihren Warteplatz auch im Hinblick auf den Ort des Ausgangs an der Ziel- oder Umsteigehaltestelle, wodurch eine Reduktion der Reisezeit der einzelnen Fahrgäste erfolgt. Anstatt die Wartezeit bis zum Eintreffen des Zugs stehend zu verbringen, wird die Zeit genutzt um den Weg zum Ausgang an der Ziel- bzw. Umsteigehaltestelle zu minimieren, das heißt die Fahrgäste bewegen sich in deren Richtung und erreichen diese auch gegebenenfalls vor Eintreffen des Zuges. Weiters wird die Verteilung von systemvertrauten Fahrgästen auch auf Grund von deren Erfahrungswerten hinsichtlich des zu erwartenden Sitzplatzangebots und des Besetzungsgrades beeinflusst. Bei geschlossenen Systemen, wie zum Beispiel U-Bahn Systemen, sind oftmals wenige Zugänge ausgeführt, weshalb dieses Verhalten relativ ausgeprägt vorkommt. Demzufolge sind Zugänge an den Enden zu vermeiden, um Fahrgäste auch auf die Mitte des Fahrzeugs bzw. des Bahnsteigs gleichmäßig zu verteilen. [24]

Im Hinblick auf die Fluchtwegsituation ist es am günstigsten, die Zugänge jeweils am Bahnsteigende zu situieren. Dies begründet sich dadurch, dass über die gesamte Breite des Bahnsteigs eine Treppe ausgebildet werden kann, die Fluchtweglänge maximal die Hälfte der Haltestellenlänge beträgt und sich die gesamte Personenanz-

ahl auf zwei Zugänge aufteilt. Im Gegensatz dazu ist bei einem einzelnen Zugang in Bahnsteigmitte keine Ausnutzung der kompletten Bahnsteigbreite möglich, alle Personen haben über einen Zugang in Bahnsteigmitte zu flüchten, sodass sich die Fluchtweglänge je nach Situierung des Zugangs am Bahnsteig wesentlich vergrößern kann. Die maximale Fluchtweglänge tritt bei einem einzelnen Zugang an lediglich einem Bahnsteigende auf.

Um die Fahrgastwechselzeit durch eine **barrierefreie Haltestellenausstattung** zu verringern, sind die Einstiegsstellen für Rollstuhlfahrer bzw. Personen mit Kinderwagen bereits am Boden zu kennzeichnen, wobei bei unterschiedlichen Fahrzeugtypen eine Differenzierung erforderlich ist. Um ein möglichst schnelles Ein- und Aussteigen von Rollstuhlfahrern bzw. Personen mit Kinderwagen zu erreichen, ist außerdem darauf zu achten, dass bei der Haltestelle vor den markierten Ein- bzw. Ausstiegen ausreichend Platz vorhanden ist, sodass eine einfache Manövrierbarkeit des Rollstuhls bzw. Kinderwagens gewährleistet ist. Ausreichend Platz hat auch im Inneren des Fahrzeuges vorhanden zu sein. Zudem hat der Weg von der Türe zum vorgesehenen Rollstuhl- bzw. Kinderwagenabstellplatz leicht passierbar zu sein. [1]



Abbildung 4.12: Taktiles Leitsystem am Bahnsteig

Wie bereits zuvor erwähnt (siehe Kapitel 4.2.3) ist es wesentlich, dass zumindest das 2-Sinne-Prinzip angewandt wird. Weiters muss im Betrieb darauf geachtet werden, dass diese Systeme – wie das taktile Leitsystem – jederzeit verfügbar sind und nicht durch Hindernisse oder Sonstiges beeinträchtigt werden. [1]

**Bahnsteiganordnungen** beeinflussen ebenfalls die Haltestellenaufenthaltszeit. Allgemein sind Bahnsteige nach ihrer Anordnung wie folgt eingeteilt: [8]

- Zwischenbahnsteig
- Mittelbahnsteig
- Seitenbahnsteig

Der Zwischenbahnsteig ist zwischen zwei Gleisen situiert. Er besitzt eine geringere Höhe als üblich. Auch halten die Züge lediglich an einer Bahnsteigkante. Um den Bahnsteig zu erreichen, ist vom Hauptbahnsteig das dazwischen befindliche Gleis zu überqueren. Der Zwischenbahnsteig wird bei Neubauten nicht mehr ausgeführt und im U-Bahn System nicht verwendet, weshalb nicht näher auf diese Bahnsteiganordnung eingegangen wird. [8]



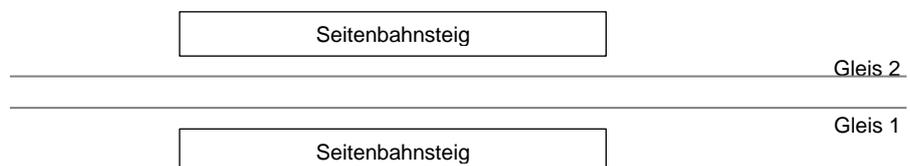
**Abbildung 4.13: Schema Zwischenbahnsteig**

Der Mittelbahnsteig befindet sich ebenfalls zwischen zwei Gleisen. Die Erreichbarkeit ist abgesehen von Ausnahmefällen ohne Überquerung eines Gleises möglich und es kann auch auf beiden Bahnsteigkanten ein Halt durchgeführt werden. [8] Ein wesentlicher Vorteil dieser Bahnsteiganordnung ist, dass beim Gleiswechselbetrieb die Fahrgäste nicht auf einen anderen Bahnsteig wechseln müssen.



**Abbildung 4.14: Schema Mittelbahnsteig**

Seitenbahnsteige sind, wie der Name besagt, seitlich der Gleise situiert, eine Gleisverziehung wie beim Mittelbahnsteig ist nicht erforderlich. [8]



**Abbildung 4.15: Schema Seitenbahnsteig**

Vergleicht man einen Mittelbahnsteig mit einem Seitenbahnsteig, so ist ein Mittelbahnsteig häufig schmaler als zwei Seitenbahnsteige in Summe. Bei Mittelbahnsteigen sind im Hinblick auf die Anzahl weniger Zugänge notwendig. Bei Seitenbahnsteigen kann dafür die Verteilung der Fahrgäste je Fahrtrichtung durch die unterschiedliche Situierung der Zugänge beeinflusst werden, dies ist auch bei Ausstattungen wie Informationseinrichtungen, Fahrkartenautomaten, Sitzgelegenheiten udgl. zu beachten. Generell wird der Fahrgaststrom bei Seitenbahnsteigen hinsichtlich der

gewünschten Fahrtrichtung bereits vor dem Zugang zum Bahnsteig entflechtet, die Behinderung von Fahrgästen untereinander wird reduziert. [8], [24]

Die gleichzeitige Entleerung von zwei Zügen in einer Haltestelle mit Seitenbahnsteigen erfolgt auch ohne Beeinflussung der anderen Fahrtrichtung, was beispielsweise im Hinblick auf die Fluchtsituation einen Vorteil darstellt.

Eine weitere Maßnahme zur Verkürzung der Fahrgastwechselzeit ist die Ausbildung von **Zwillingsbahnsteigen**. Diese sind wie folgt definiert: [29]

*„Unter einem Zwillingsbahnsteig wird die Zuordnung von zwei Bahnsteigkanten zu einem Bahnsteiggleis verstanden, welche einen zeitgleichen Fahrgastwechsel zu beiden Fahrzeugseiten gestatten.“*

Definition Zwillingsbahnsteig gemäß Müller [29]

Derzeit werden diese Bahnsteige hauptsächlich auf S-Bahn bzw. U-Bahn Strecken ausgeführt.

Prinzipiell bestehen bei Zwillingsbahnsteigen drei Grundvarianten der Fahrgastverteilung: [29]

- **Variante 1:** Traditionelle Anordnung
- **Variante 2:** Zwillingsbahnsteig mit Fahrgaststromtrennung
- **Variante 3:** Zwillingsbahnsteig ohne Fahrgaststromtrennung

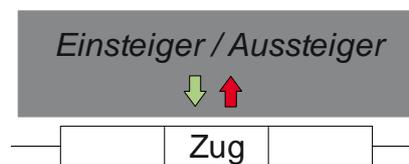


Abbildung 4.16: Variante 1 - Traditionelle Anordnung [29]

Bei der traditionellen Anordnung erfolgt der Fahrgastwechsel auf einem Bahnsteig, dabei dienen alle Türen zum Ein- und Aussteigen. [29]

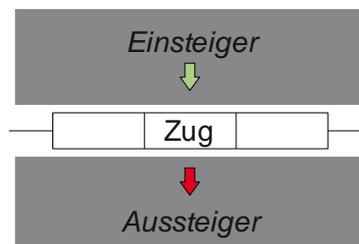


Abbildung 4.17: Variante 2 - Zwillingsbahnsteig mit Fahrgaststromtrennung [29]

Im Falle der Variante 2 erfolgt der Fahrgastwechsel auf dem Zwillingsbahnsteig durch Trennung der Fahrgastströme mittels zwei Bahnsteige, der Ein- bzw. Ausstieg wird gleichzeitig durchgeführt. Der Unterschied zur traditionellen Anordnung besteht darin, dass zwei Bahnsteige zum Wechsel benutzt werden und dabei jeweils ein Bahnsteig ausschließlich von einsteigenden bzw. ausschließlich von aussteigenden Fahrgästen frequentiert wird.

Ein gegenseitiges Behindern der beiden Fahrgastströme wird mit dieser Variante sehr stark reduziert, auch kann zusätzlich die doppelte Anzahl von Türen gegenüber der traditionellen Variante benutzt werden. Dies führt insgesamt zu einer Verringerung der Fahrgastwechselzeit.

Um einen möglichst reibungslosen Ablauf des Fahrgastwechsels zu ermöglichen, muss die Information, welcher Bahnsteig zum Ausstieg und welcher zum Einstieg vorgesehen ist, sowohl innerhalb der Haltestelle als auch im Fahrzeug selbst deutlich zu erkennen sein. [29]

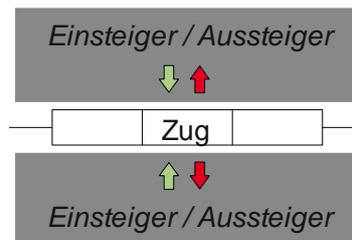


Abbildung 4.18: Variante 3 - Zwillingbahnsteig ohne Fahrgaststromtrennung [29]

Variante 3 hat im Unterschied zur traditionellen Variante zwei Bahnsteige zum Fahrgastwechsel zur Verfügung, der Ein- und Ausstieg erfolgt auf beiden Bahnsteigen allerdings ohne Trennung der Fahrgastströme.

Bei dieser Variante sind keine zusätzlichen Informationen für die Fahrgäste vonnöten. Gegenüber Variante 1 kann die Fahrgastwechselzeit um bis zu 48,4% verringert werden. [29]

#### 4.3.2 Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit

Lehnhoff und Janssen führen und begründen in ihrer Veröffentlichung „Abschätzung der Haltestellenaufenthaltszeiten im Nahverkehr“ folgende Empfehlungen im Hinblick auf die Haltestelle zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit an. [28]

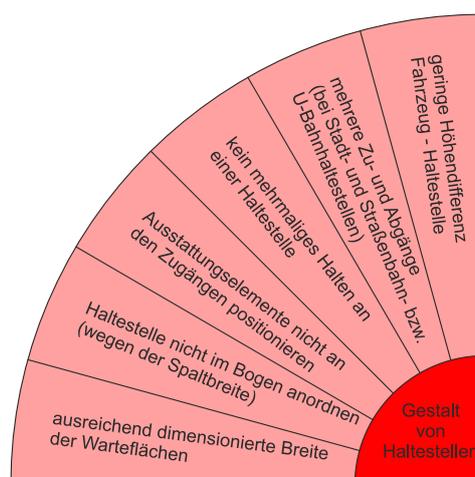


Abbildung 4.19: Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit: Bahnsteig [28] (leicht modifizierte Abbildung)

## 4.4 Einflussfaktor Betrieb

Die Einflussfaktoren im Bereich Betrieb sind:

- Verkehrsfunktion der Linie
- Fahrticketsystem
- Abfertigungssystem
- Synchronisationszeiten
- Betriebsstörungen

Die **Verkehrsfunktion** einer Linie kann im Hinblick auf die Haltestellenaufenthaltszeiten in zwei Hauptfunktionen aufgeteilt werden: in die Sammelfunktion und in die Verteilerfunktion.

Eine Linie mit Sammelfunktion sammelt die Fahrgäste nach und nach ein und befördert diese bis ins Zentrum oder bis zu einem wichtigen Umsteigepunkt. Auf dem Weg in Richtung Zentrum steigen keine Fahrgäste aus, während in entgegengesetzter Fahrtrichtung keine Fahrgäste einsteigen. Die durchschnittliche Fahrtstrecke einer solchen Linie ist groß, sodass die Fahrgastwechselzeit im Zentrum und beim Umsteigepunkt sehr groß ist, bei den anderen Haltestellen hingegen gering. [24]

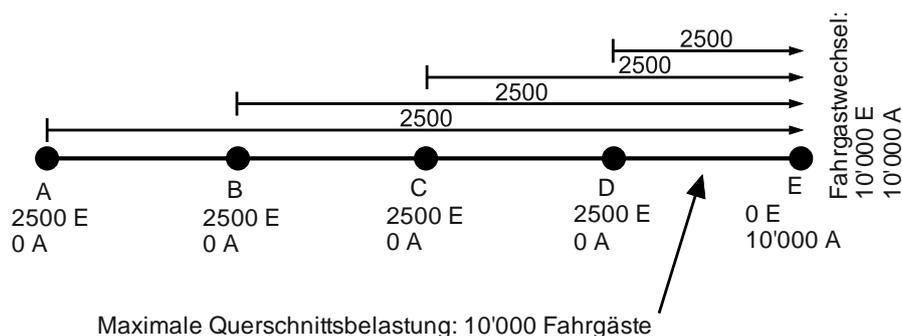


Abbildung 4.20: Sammelfunktion [24]

Unter einer Linie mit Verteilerfunktion versteht man eine Linie, bei der an jeder Haltestelle Einsteige- und Aussteigevorgänge gegeben sind. Eine Verteilerfunktionslinie dient der internen Erschließung ihres durchfahrenen Gebiets und bedient eine hohe Anzahl an Anschlusshaltestellen. Die Fahrgäste befinden sich lediglich für kurze Strecken im Fahrzeug, auch ist die gesamte Fahrtstrecke gegenüber einer Sammelfunktion kurz. Die Fahrgastwechselzeit einer solchen Linie ist über die gesamte Fahrtstrecke sehr hoch, wobei sie relativ linear verteilt ist. [24]

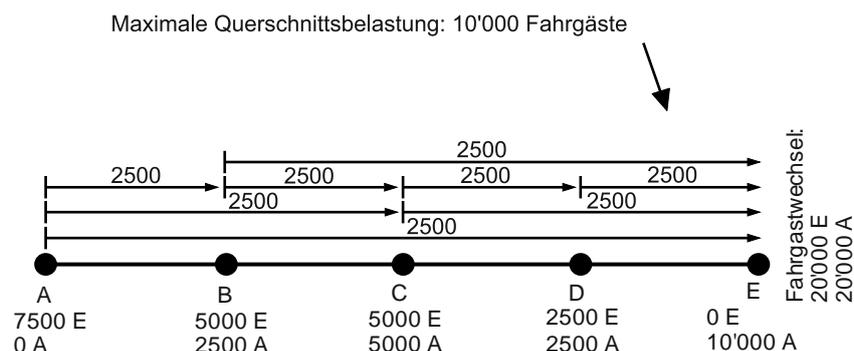


Abbildung 4.21: Verteilerfunktion [24]

Realistisch ist eine Mischung beider Funktionen. Wird zum Beispiel eine Radiallinie betrachtet, so ist diese von der Endhaltestelle im wenig dicht besiedelten Gebiet bis zu einem wichtigen Umsteigeknoten ähnlich einer Sammellinie, im Zentrum bzw. in Zentrumsnähe wird die Verteilerfunktion wesentlicher.

Auch das **Fahrtticketsystem** hat Auswirkungen auf die Haltestellenaufenthaltszeit. Wenn zum Beispiel die Fahrscheine beim Fahrer gekauft und entwertet werden, so übt dies einen wesentlichen Einfluss auf die Haltestellenaufenthaltszeit aus. In geschlossenen Systemen, wie das U-Bahn System eines ist, bieten sich die wenigen Zugänge an, um dort die Zugangskontrollen durchzuführen. Diese können mittels Systemen ausgeführt werden, welche den Zugang zu den Bahnsteigen begrenzen (z.B. mittels Drehkreuzen, Schranken udgl.) oder es kommen offene Systeme zur Anwendung, welche keine Barrieren beim Zutritt darstellen und die Entwertung der Fahrscheine erfolgt zum Beispiel lediglich bei den Entwertungsmaschinen.

Jedes System, welches nicht auf den Bahnsteigen oder im Fahrzeug situiert ist, besitzt keinen Einfluss auf die Haltestellenaufenthaltszeit. Im Gegensatz dazu beeinflussen Fahrticketautomaten und Entwertungsmaschinen auf dem Bahnsteig die Haltestellenaufenthaltszeit, da Fahrgäste gerne in räumlicher Nähe dieser Maschinen auf den nächsten Zug warten.

Direkt im Fahrzeug situierte Fahrtticketsysteme, auch wenn diese lediglich mittels Maschinen und ohne Personal operieren, beeinflussen ebenfalls die Haltestellenaufenthaltszeit, denn die Situierung der Maschinen innerhalb des Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Wahl der Türe.

Die **Abfertigungszeit** umfasst die Türschließzeit (siehe Kapitel 4.2.1), die Prüf- und Fertigmeldezeit, sowie die Reaktionszeit und hängt von der ausgeführten Abfertigungsmethode, der vorhandenen Fahrzeugsteuerung und dem vorhandenen Türsystem ab. [24]

Weiteren Einfluss auf die Haltestellenaufenthaltszeit haben eventuell vorhandene **Synchronisationszeiten** zur Gewährleistung von Anschlüssen. Diese treten auch in Nahverkehrssystemen auf und sind somit zu berücksichtigen.

**Betriebsstörungen** können dazu führen, dass ein längerer Haltestellenaufenthalt erforderlich ist. Dies kann auf Grund eines Problems im/am Vordergrund notwendig sein, oder durch ein Problem im/am eigentlichen Fahrzeug selbst. Da Störungen vielfältiger Natur sind und nicht dem Normalfall entsprechen, werden diese hier nicht näher behandelt.

### **Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit**

Gemäß *Lehnhoff und Janssen* führen für den Bereich Betrieb die in der unteren Hälfte der Abbildung 4.22 angeführten Empfehlungen zu einer Optimierung der Fahrgastwechselzeit.

## 4.5 Empfehlungen und Abhängigkeiten der Einflüsse

Abbildung 4.22 fasst alle Empfehlungen zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit gemäß der Veröffentlichung „Abschätzung der Haltestellenaufenthaltszeiten im Nahverkehr“ von *Lehnhoff und Janssen* zusammen. [28]

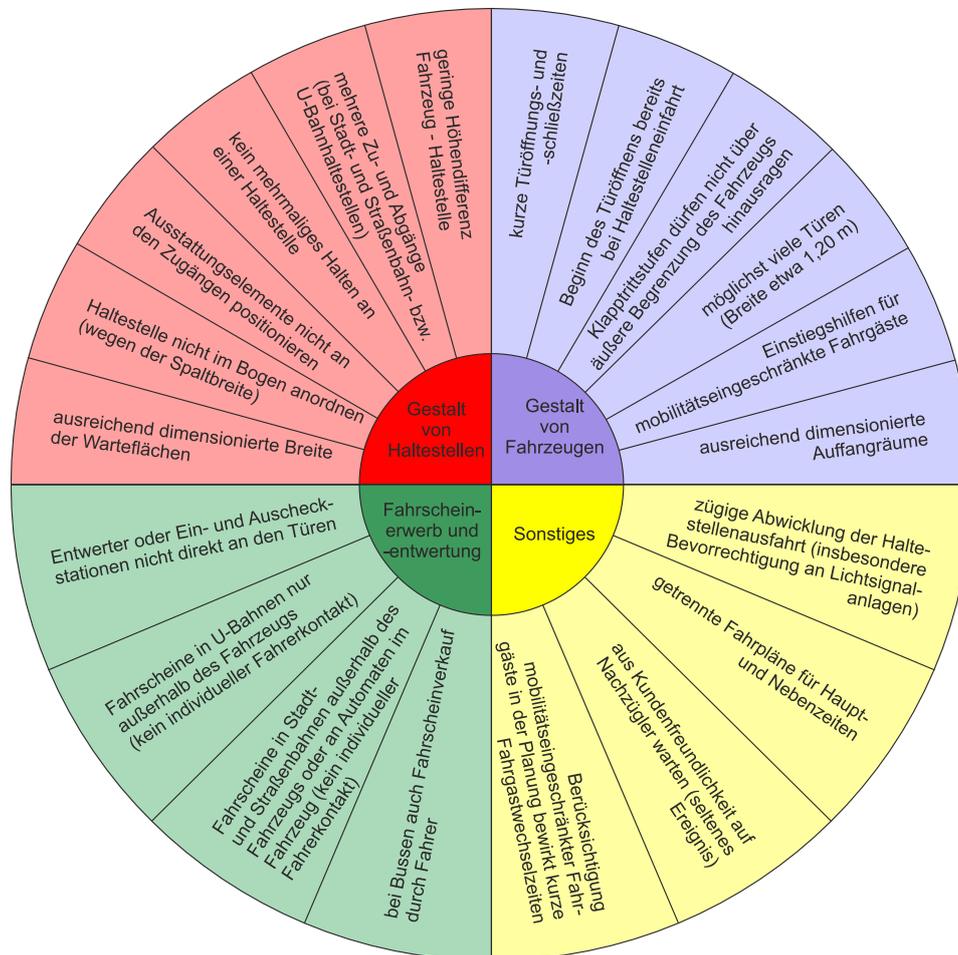


Abbildung 4.22: Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit [28] (leicht modifizierte Abbildung)

Viele der zuvor behandelten Einflüsse weisen Wechselwirkungen auf. Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 4.23 und Abbildung 4.24) geben davon einen ersten Überblick. Bezüglich weiterer Erläuterungen darf auf die Dissertation von *Weidmann* verwiesen werden. [24]

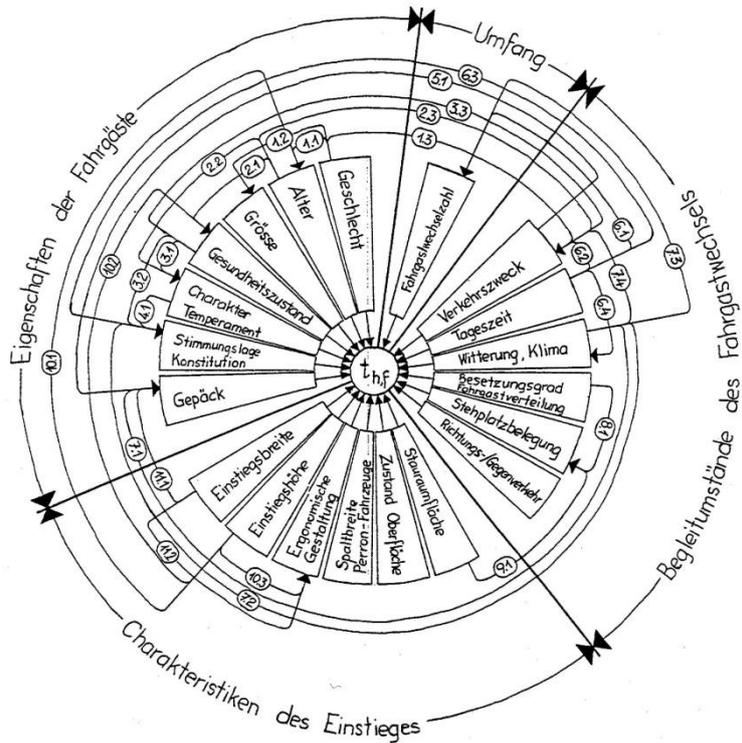


Abbildung 4.23: Einflussfaktoren Fahrgastwechselzeit und Abhängigkeiten an einer Einzeltüre [24]

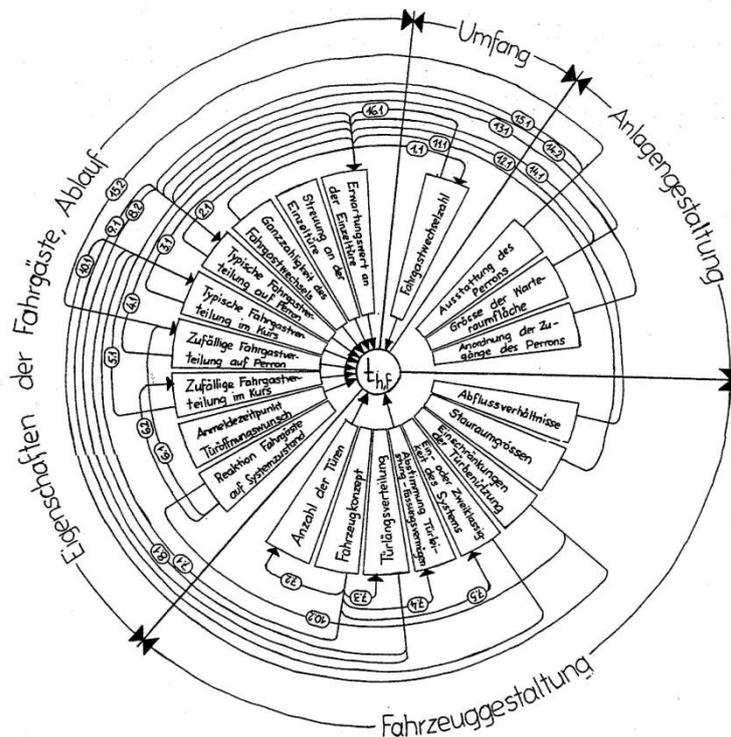


Abbildung 4.24: Einflussfaktoren Fahrgastwechselzeit und Abhängigkeiten eines Fahrzeugs [24]

In diesem Kapitel wurden die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeit analysiert und damit ist der Literaturanalyseteil der vorliegenden Arbeit beendet. Im nächsten Kapitel erfolgt die Beschreibung, Auswertung und Interpretation der selbst durchgeführten empirischen Untersuchung.

# III EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG

Die empirische Untersuchung zu den Haltestellenaufenthaltszeiten wurde im September, Oktober und November 2015 in Wien auf der Linie U4 durchgeführt. Sie ist in zwei Phasen gegliedert:

- In Phase 1 erfolgten die Erhebungen im fahrenden Zug zwecks Ermittlung der relevanten Daten (Haltestellenaufenthaltszeiten, Fahrzeiten udgl.) für die Auswahl der in Phase 2 maßgebenden Haltestellen.
- In Phase 2 wurden stationär vom Bahnsteig dieser maßgebenden Haltestellen ebenfalls Daten wie die Haltestellenaufenthaltszeiten erhoben.

Nach einem Abriss der Rahmenbedingungen der empirischen Untersuchung folgt eine genaue Beschreibung der Durchführung von Phase 1 und 2 gegliedert nach Datenerhebung und –darstellung einerseits sowie nach Datenauswertung und Interpretation andererseits. Abschließend wird eine mögliche weitere Vorgehensweise zur Implementierung von neuen Haltestellenaufenthaltszeiten angeführt.

## 1 Grundlegendes

Das in der empirischen Untersuchung festgelegte Untersuchungsgebiet, die Stadt Wien und deren U-Bahn System, wird zuerst allgemein beschrieben und anschließend eine vertiefende Beschreibung der untersuchten U-Bahn Linie U4 gegeben. Als letzter Punkt werden die Rahmenbedingungen der Erhebung behandelt.

### 1.1 Untersuchungsgebiet Allgemein: Wiener U-Bahn Netz

Wien ist die Hauptstadt Österreichs mit einer Einwohnerzahl von rund 1,84 Mio. Personen auf einer Fläche von 414,9 km<sup>2</sup>. (Stand: 2015) [30]

Wien ist in 23 Bezirke gegliedert, wobei die Stadt durch die Donau geteilt ist. Es befinden sich lediglich zwei Bezirke nördlich der Donau. Das Zentrum bildet der 1. Bezirk mit dem Namen „Innere Stadt“, dieser liegt südlich der Donau und ist vollständig von Innenbezirken umgeben. Die Grenze zwischen Zentrum und Innenbezirken ist durch die dort verlaufende Ringstraße sehr gut erkennbar. Neun der 23 Bezirke zählen zu den Innenbezirken, unter den Außenbezirken werden die restlichen 13 verstanden. Die westliche Grenze zwischen Innen- und Außenbezirken bildet der sogenannte „Gürtel“, das ist eine Straße mit meist drei Fahrspuren je Fahrtrichtung.

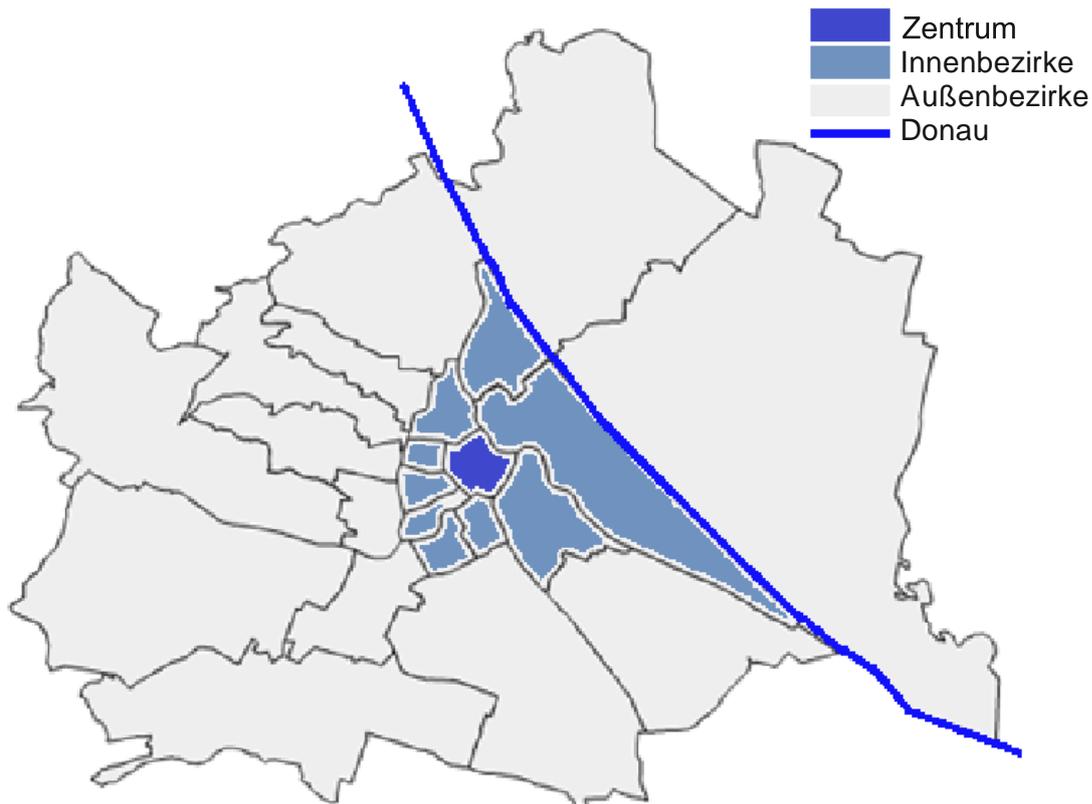


Abbildung 1.1: Wien Bezirke

Im Jahre 1996 wurden 32% der Wege mittels ÖPNV zurückgelegt. Wie Abbildung 1.2 zeigt steigt der Modal Split zu Gunsten des ÖPNVs an und so lag der Anteil des ÖPNV im Jahr 2015 bei 39%. [30]

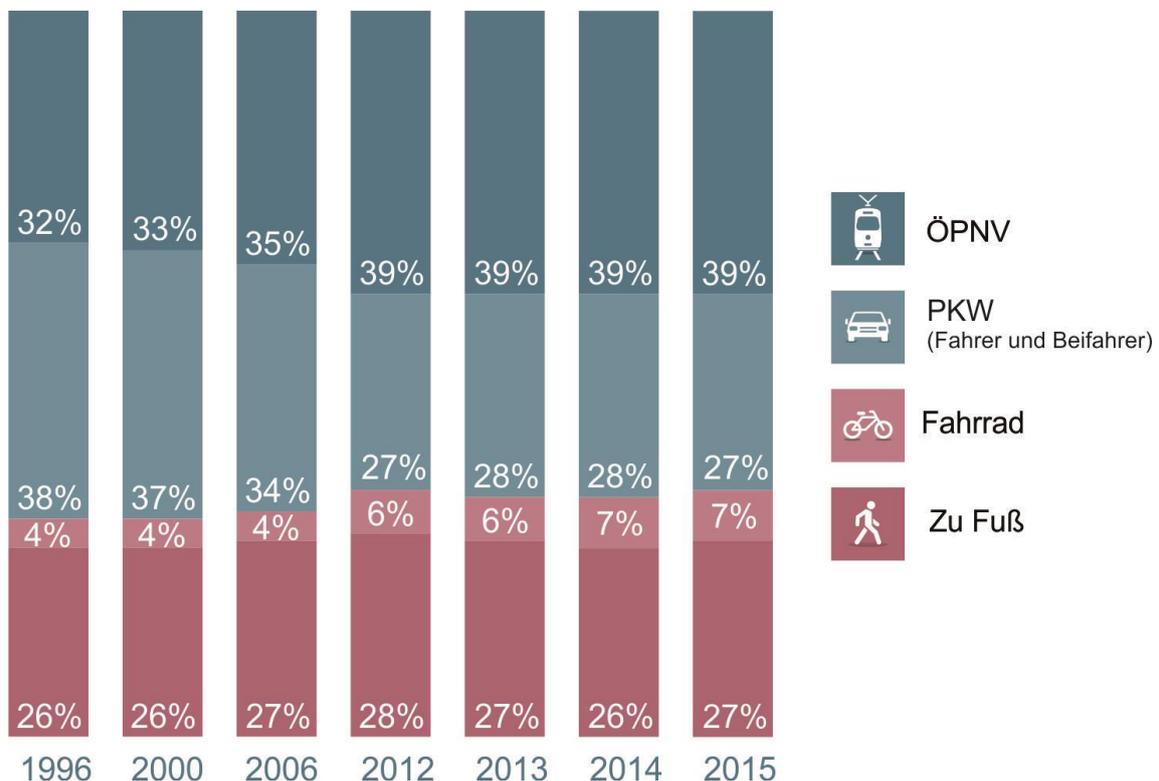


Abbildung 1.2: Modal Split Wien [30] (leicht modifizierte Abbildung)

In den Anfängen umfasste das Wiener ÖPNV Netz die Pferdestraßenbahnlinie, die Dampftramway, die Stadtbahn udgl. Daraus entstand das heutige ÖPNV Netz, welches aktuell S-Bahn, U-Bahn, Straßenbahn und Bus umfasst. [31]

Pläne für den Bau eines U-Bahn Netzes wurden, nach mehreren erfolglosen Anläufen in den Jahren davor, Mitte der 1960er Jahre beschlossen. Es sollte ein aus vier Linien bestehendes Grundnetz geschaffen werden, wobei zwei Linien davon (U2 und U4) sich dabei bereits vorhandener Trassen der Unterpflasterstraßenbahn (U-Strab) bzw. der Stadtbahn bedienen. [31]

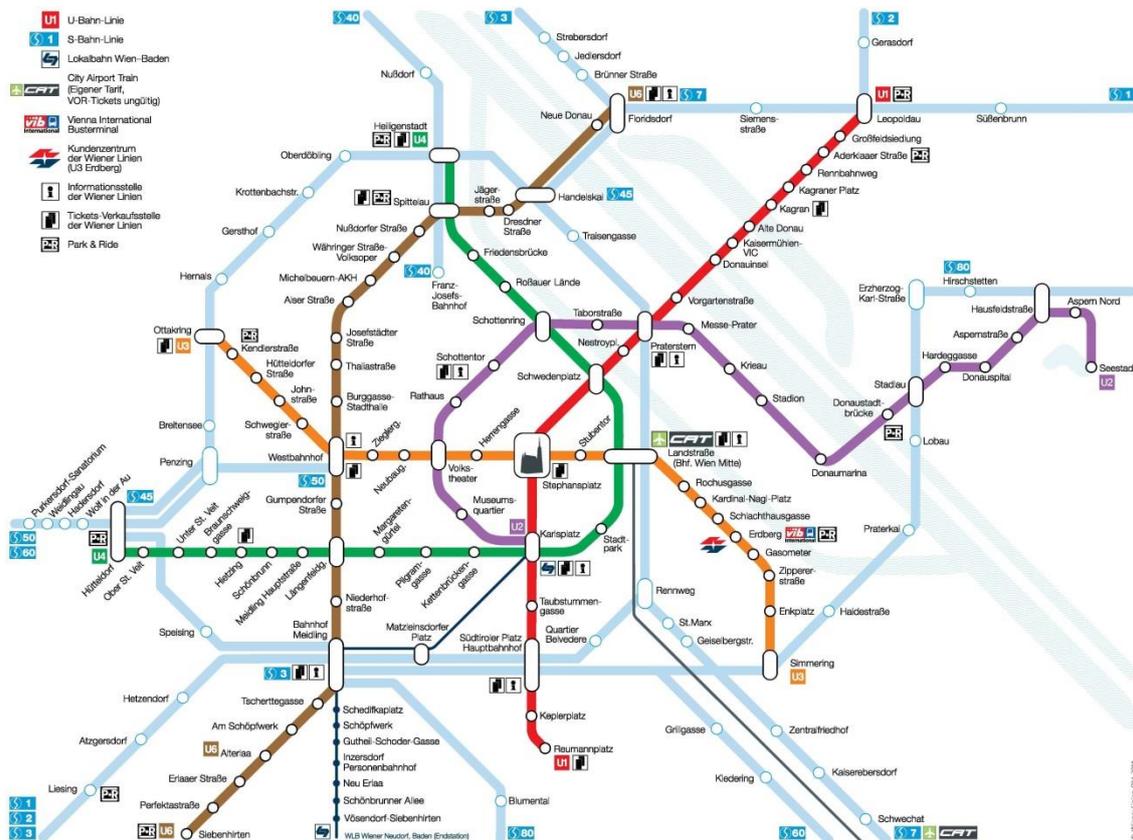


Abbildung 1.3: Netzplan U-Bahn und S-Bahn heute (Stand: 2015)

Das heutige U-Bahn Netz in Wien umfasst fünf U-Bahn Linien: U1, U2, U3, U4 und U6. Die Erschließung der Stadt erfolgt mittels 104 Haltestellen, einer gesamten Liniennlänge von 78,5 Kilometern und einer mittleren Reisegeschwindigkeit von rund 32,5 km/h. (Stand: 2015) [30]

Die U-Bahn Linie U1 ist als Durchmesserlinie ausgeführt. Sie verbindet den Süden der Stadt mit dem Norden und erschließt dabei auch das Zentrum. Nördlich der Donau verläuft die Trasse hauptsächlich in Hochlage, südlich der Donau in Tieflage. Mittels der Station „Südtiroler Platz / Hauptbahnhof“ wird der neue Verkehrsknotenpunkt Hauptbahnhof Wien an das U-Bahn Netz angeschlossen. [31]

Die U-Bahn Linie U2 hat im Bereich Karlsplatz bis Schottenring ihre Trasse ungefähr an der westlichen Grenze des Zentrums situiert. Anschließend verläuft sie entlang der Donau, bis der Fluss auf einer Brücke überquert und in Richtung Osten das der-



## Fahrzeuge

Die auf den Linien U1, U2, U3 und U4 eingesetzten Fahrzeuge sind die Typen „U“, „U<sub>11</sub>“, „U<sub>2</sub>“ und „V“. Die Typen „U“, „U<sub>11</sub>“ und „U<sub>2</sub>“ sind unter dem Begriff „Silberpfeil“ zusammengefasst. Der Typ „V“ wird auch als „V-Wagen“ bezeichnet und ist der neuere Fahrzeugtyp. [33]



Abbildung 1.5: Fahrzeugtypen U1, U2, U3, U4: Silberpfeil (li.) / V-Wagen (re.)

Auf der U-Bahn Linie U6 kommen die Typen „T“ und „T<sub>1</sub>“ zum Einsatz. [33]



Abbildung 1.6: Fahrzeugtyp U6: T-Typ [33] (leicht modifizierte Abbildung)

Auf Grund der im Regelfall vorhandenen Bahnsteiglänge von 115 m, weisen die U-Bahnzüge in Wien eine Länge von etwa 110 m auf. [15]

Bei den Typen „U“, „U<sub>11</sub>“ und „U<sub>2</sub>“ setzt sich ein Langzug aus drei Doppeltriebwagen, welche eigenständig funktionsfähig sind, zusammen. Bis 2008 waren auf der Linie U2 Kurzzüge mit lediglich zwei aneinander gekoppelten Doppeltriebwagen im Einsatz. Ein Doppeltriebwagen hat eine Länge von 36,80 m, ein Langzug hat eine Gesamtlänge von 110,40 m. [34]

Der „V“-Typ im Wiener U-Bahn System bildet als sechsteiliger Wagen eine geschlossene Einheit [35]. Die Länge eines Zuges beträgt 111,22 m [26].

Bei der Bildung eines Langzuges mittels der Typen „T“ und „T<sub>1</sub>“ werden vier Wagen aneinander gekoppelt. Wie bei den U-Typen sind diese Wagen eigenständig funktionsfähig. Sie besitzen eine Länge von 27,30 m, sodass die Gesamtlänge eines Langzuges 109,20 m beträgt. [33]

Aktuell werden in Wien keine Kurzzüge eingesetzt.

Der Fahrzeugpark der Wiener Linien setzt sich, wie in Tabelle 1.1 dargestellt, wie folgt zusammen.

Tabelle 1.1: Fahrzeugpark Wiener Linien (Stand: 29.06.2015) [35]

Typ	Anzahl Wagen	Anzahl Züge
<b>U<sub>x</sub>-Typ</b>	206	68
15 U-Doppeltriebwagen		
117 U <sub>11</sub> -Doppeltriebwagen		
74 U <sub>2</sub> -Doppeltriebwagen		
<b>V-Typ</b>	53	53
<b>T<sub>x</sub>-Typ</b>	144	36
78 T-Typ		
66 T <sub>1</sub> -Typ		
<b>SUMME</b>		<b>157</b>

## 1.2 Untersuchungsgebiet Detail: Wiener U-Bahn Linie U4

Die Linie U4 in Wien ist seit 1981 in ihrer derzeitigen Streckenführung in Betrieb [30]. Diese U-Bahnlinie führt auf einer Länge von 16,3 Kilometern von Heiligenstadt im Norden Wiens bis Hütteldorf im Westen [36], bildet gemeinsam mit der Linie U2 einen Ring um das Zentrum [31] und besitzt inklusive den beiden Endhaltestellen 20 Stationen [36].

Von Hütteldorf bis zur Station Wien Mitte / Landstraße verläuft die Trasse auf der Strecke der ehemaligen Wientallinie der Stadtbahn - von Hütteldorf aus startend entlang des Wienflusses, anschließend im Bereich des Zentrums ungefähr an dessen östlicher Grenze. Danach werden mittels Streckenführung entlang des Donauka-

nals die nördlichen Bezirke der Stadt erschlossen (ehemalige Donaukanallinie der Stadtbahn). [31]



Abbildung 1.7: Haltestellenfolge U4 [37] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

Die Trasse entstand unter Verwendung der ehemaligen Stadtbahntrasse Wiental-Donaukanal-Strecke. Der Umbau erfolgte in den Jahren 1976 bis 1981. Dabei wurden die Stationen „Unter St. Veit“, „Braunschweigasse“, „Karlsplatz“, „Wien Mitte / Landstraße“, „Schwedenplatz“ und „Schottenring“ neu gebaut. Die Stationen „Hütteldorf“, „Ober St. Veit“, „Hietzing“, „Schönbrunn“, „Meidlinger Hauptstraße“, „Margaretengürtel“, „Pilgramgasse“, „Kettenbrückengasse“, „Stadtpark“, „Roßauer Lände“, „Friedensbrücke“ und „Heiligenstadt“ wiederum waren bereits vorhanden, mussten jedoch für den U-Bahn Betrieb umgebaut werden. Bei der Adaptierung wurde speziell auf denkmalpflegerische Belange des von Otto Wagner entwickelten Gesamtkonzeptes der Stadtbahn geachtet. Sofern möglich wurden die Haltestellen nur soweit angepasst, dass sie den betrieblichen Anforderungen des geplanten U-Bahn Systems entsprachen. Der Umbau fand meist unter Zugrundelegung der alten Pläne statt. [31]



Abbildung 1.8: Stadtbahn Station Hietzing

Die Station „Meidling Hauptstraße“ wurde nach 1981 mehrfach umgebaut. Die Stationen „Längenfeldgasse“ und „Spittelau“ wurden erst Jahre später errichtet, so erfolgte die Eröffnung der Station „Längenfeldgasse“ im Jahr 1989, die der Station „Spittelau“ im Jahr 1995. [38]

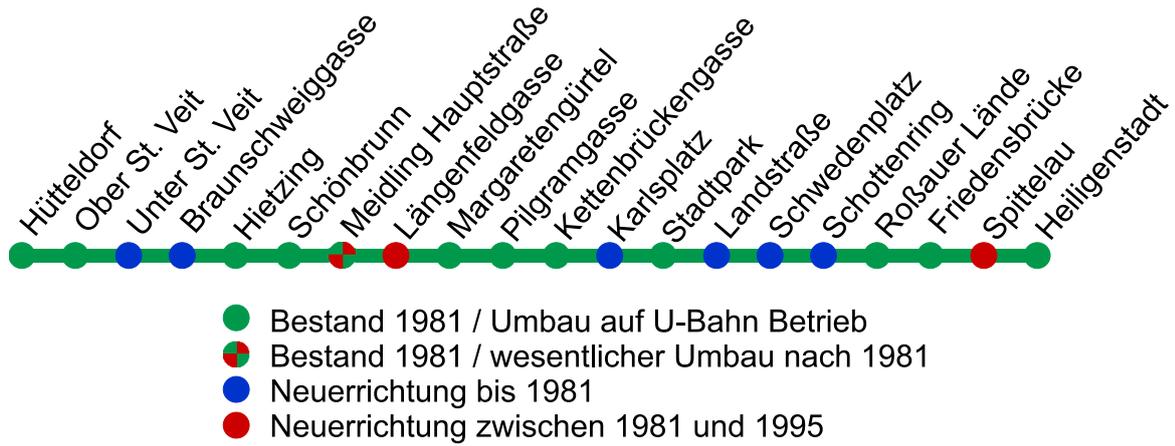


Abbildung 1.9: Haltestellenerriechung

Abbildung 1.10 zeigt, in welchen Bereichen die Streckenführung in Hoch- bzw. Tieflage erfolgt, jeweils am Ende der Strecke wird die Linie in Hochlage geführt.

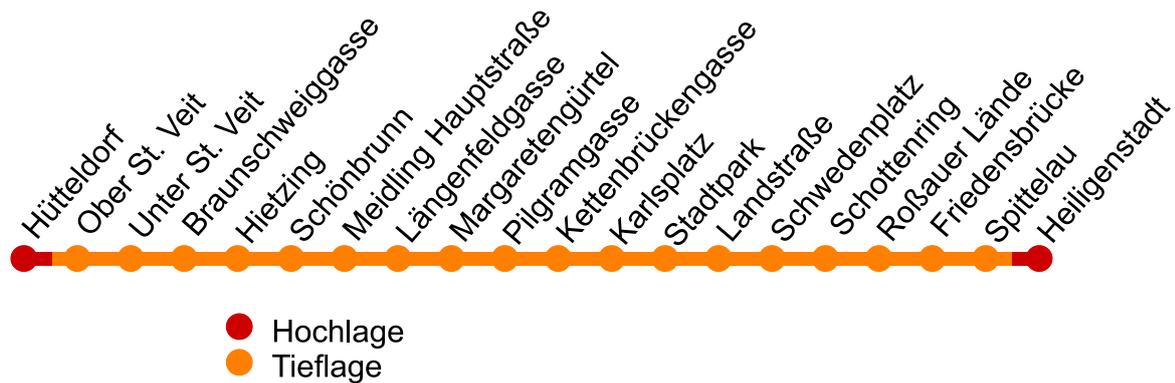


Abbildung 1.10: Streckenführung Hochlage / Tieflage

Abbildung 1.11 kann entnommen werden, auf welchen Teilstrecken die Linie offen oder als Tunnel (bzw. geschlossen in Hochlage) ausgeführt ist. Die einzige Haltestelle mit nur einer teilweisen Überdachung der Bahnsteige ist die Station Stadtpark.

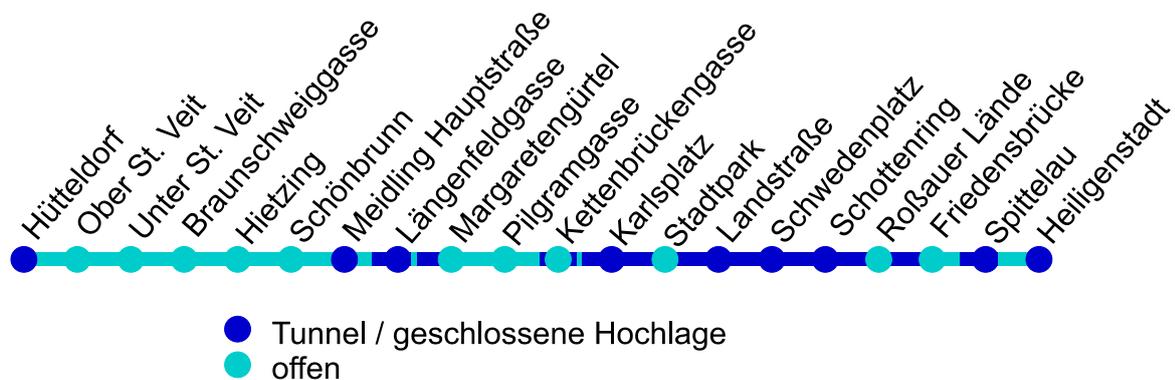


Abbildung 1.11: Streckenführung geschlossen / offen



An den nachfolgenden vier Haltestellen der U4 ist eine Anbindung an das S-Bahn Netz gegeben: [37]

- Hütteldorf
- Wien Mitte / Landstraße
- Spittelau
- Heiligenstadt

Eine Anbindung an andere U-Bahn Linien ist mittels folgender sechs Stationen gesichert: [37]

- Längenfeldgasse (U6)
- Karlsplatz (U1, U2)
- Wien Mitte / Landstraße (U3)
- Schwedenplatz (U1)
- Schottenring (U2)
- Spittelau (U6)

Die Gesamtfahrzeit der U4 von Endstation bis Endstation ist im veröffentlichten Fahrplan mit 29 Minuten angegeben. [37]

**Abbildung 1.12: Umsteigerelationen U4 [37]**  
(leicht modifiziert – eigene Darstellung)

### 1.3 Rahmenbedingungen der Erhebung

In beiden Phasen der Erhebung wurden die Haltestellenaufenthaltszeiten gemessen und eventuelle Störungen, auf Grund derer eine längere Aufenthaltszeit verzeichnet wurde, notiert. Weiters wurde der Fahrzeugtyp festgehalten, um deren unterschiedliche Auswirkungen auf die Fahrgastwechselzeit zu berücksichtigen. Diese unterschiedlichen Auswirkungen sind bedingt einerseits durch die jeweilige Ausbildung des betreffenden Fahrzeugtyps und andererseits durch die in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp variierenden Fahreigenschaften. Das Wetter wiederum wurde wegen seines Einflusses auf die Anzahl der Fahrgäste je Erhebung festgehalten.

Die Datenerhebungen wurden jeweils an einem Dienstag, Mittwoch oder Donnerstag eigenhändig durchgeführt, sodass der Einfluss des Wochenendes bereinigt ist.

Die Datenerhebungen erfolgten mit Hilfe von Stoppuhren, die Zeiten wurden dabei mit einer Genauigkeit von ganzen Sekunden festgehalten. Der Start der Haltestellenaufenthaltszeit wurde mit dem Anhalteruck festgelegt, das Ende mit dem Anfahrdruck.

## 2 Durchführung

In diesem Kapitel werden getrennt nach Phase 1 und 2 sowie für beide Phasen gemeinsam die erhobenen Daten beschrieben, grafisch dargestellt, ausgewertet und interpretiert. Eine detailliertere Gliederung wird mittels drei Szenarien, welche nachfolgend kurz beschrieben werden, erreicht.

- Szenario 1: Daten der Phase 2 werden getrennt nach Morgen- und Abendspitze sowie je Haltestelle behandelt.
- Szenario 2: Gesamtwerte (auf Basis erhobener Daten Phase 2) werden getrennt nach Morgen- und Abendspitze beschrieben, abgebildet und analysiert.
- Szenario 3: Betrachtung der Gesamtwerte, welche auf Basis aller (Phase 1 und 2) erhobenen Daten ermittelt wurden, über den gesamten Tagesverlauf.

### 2.1 Phase 1 – Datenerhebung und -darstellung

In der ersten Phase wurden die Erhebungen zwischen 9:30 und 15:30, das heißt in Zeiten durchgeführt, in denen ein durchschnittliches Fahrgastaufkommen zu erwarten war. Die nachfolgenden Daten wurden während 11 Fahrten vom Fahrzeug aus im September 2015 erhoben:

- Datum und Uhrzeit der Durchführung
- Wetterverhältnisse
- Fahrzeugtyp
- Haltestellenaufenthaltszeiten
- Fahrzeiten zwischen den Haltestellen
- Notizen außerordentlicher Ereignisse (z.B. große Gruppen, Halt auf der Strecke etc.)

**HEILIGENSTADT - HÜTTELDORF**

Datum	17.09.2015
Zeit Start	10:14
Zeit Ende	10:43
Wetter	24°C sonnig
Wagenart	neu V-Wagen

	Zeiten [s]	Anmerkungen
Heiligenstadt		
	102	
Spittelau	31	
	67	
Friedensbrücke	25	betriebsbedingte längere Stehzeit
	63	
Roßauer Lände	19	
	61	
Schottenring	61	betriebsbedingte längere Stehzeit
	61	
Schwedenplatz	28	
	81	
Landstraße	30	
	56	
Stadtpark	15	
	78	
Karlsplatz	26	
	73	
Kettenbrückengasse	23	
	58	
Pilgramgasse	22	
	69	
Margaretengürtel	18	
	61	
Längenfeldgasse	36	U6 etwa gleichzeitig eingetroffen
	55	
Meidling Hauptstrasse	20	
	57	
Schönbrunn	23	
	75	
Hietzing	28	
	59	
Braunschweiggasse	13	
	59	
Unter St. Veit	20	
	59	
Ober St. Veit	18	
	99	
Hütteldorf		

SUMME 1749 [s]

SUMME 29:09 [min:s]

Abbildung 2.1: Beispiel Erhebungsblatt Phase 1

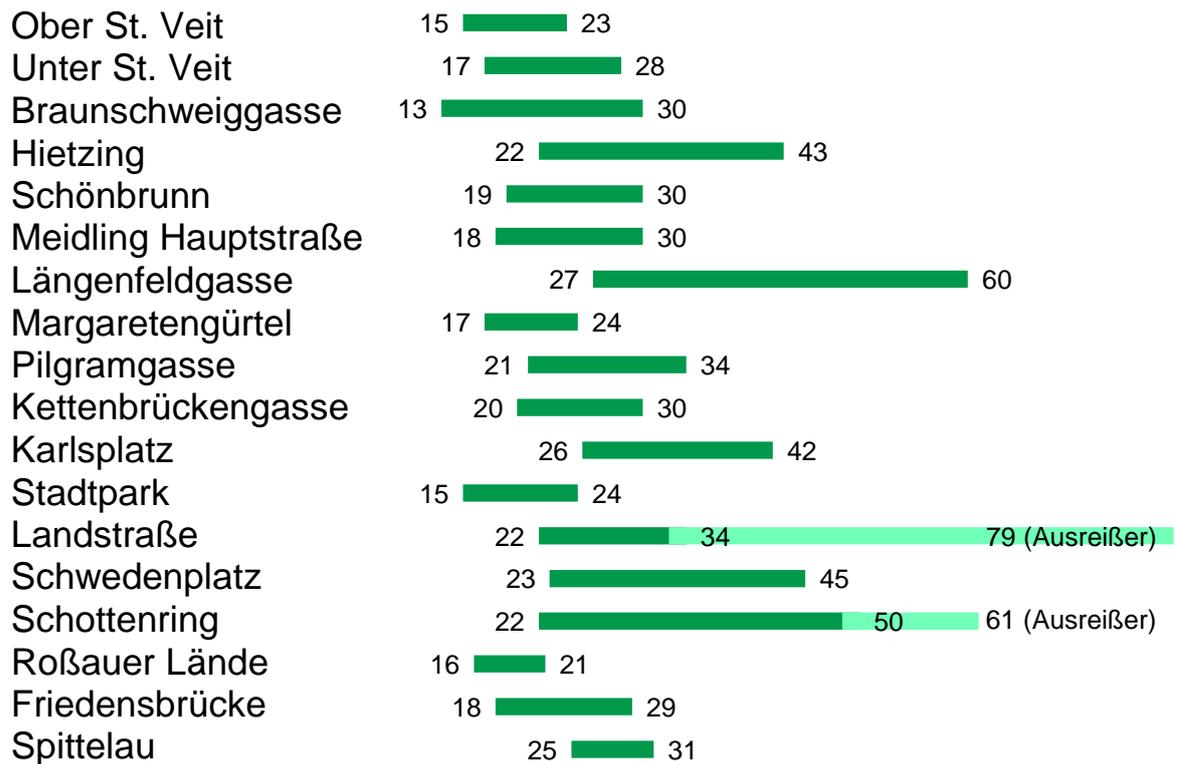


Abbildung 2.2: Bandbreite erhobener Haltestellenaufenthaltszeiten (alle Werte in Sekunden)

Abbildung 2.2 zeigt die Bandbreite der erhobenen Haltestellenaufenthaltszeiten sowie die ermittelten Ausreißer auf.

Der Datenpunkt „Wien Mitte / Landstraße 79 s“ wurde als Ausreißer deklariert, da die maximal ermittelte Haltestellenaufenthaltszeit wesentlich länger war als die der anderen ermittelten Werte in dieser Station, welche zwischen 22 s und 34 s lagen. Die längere Stehzeit wurde nicht durch einen starken Fahrgastwechsel verursacht, der tatsächliche Grund dafür konnte allerdings nicht eruiert werden.

Der Datenpunkt „Schottenring 61 s“ wurde ebenso als Ausreißer definiert, da hier gleichermaßen kein erkennbarer Grund für den längeren Halt vorlag. Die durchschnittliche Haltestellenaufenthaltszeit in der Station Schottenring lag im Bereich zwischen 22 s und 31 s, die ermittelte maximale Stehzeit in dieser Station betrug 50 s, wobei letzterer Wert aus einem starken Fahrgastwechsel an einer einzelnen Tür resultierte.

## 2.2 Phase 1 – Datenauswertung und Interpretation

Ziel dieser Erhebungen in Phase 1 war es, jene Stationen mit größeren Haltestellenaufenthaltszeiten zu ermitteln, folglich wurde als Bewertungskriterium die erhobene maximale Haltestellenaufenthaltszeit je Haltestelle festgelegt. Die sechs maßgebenden Haltestellen werden in Phase 2 genauer untersucht (siehe dazu Kapitel 2.3 ff).

Die Auswertung der erhobenen Daten – in Summe 247 Haltestellenaufenthaltszeiten – hinsichtlich der maximalen Haltestellenaufenthaltszeiten ergibt nachfolgende Reihung:

1	Wien Mitte / Landstraße	79 s
2	Schottenring	61 s
3	Längenfeldgasse	60 s
4	Schwedenplatz	45 s
5	Hietzing	43 s
6	Karlsplatz	42 s
7	Pilgramgasse	34 s
8	Spittelau	31 s
9	Schönbrunn	30 s
10	Kettenbrückengasse	30 s
11	Braunschweigasse	30 s
12	Meidling Hauptstraße	30 s
13	Unter St. Veit	28 s
14	Friedensbrücke	29 s
15	Margaretengürtel	24 s
16	Stadtpark	24 s
17	Ober St. Veit	23 s
18	Roßauer Lände	21 s

Werden die zwei vorhandenen Ausreißer („Wien Mitte / Landstraße 79 s“ und „Schottenring 61 s“, siehe dazu Kapitel 2.1) berücksichtigt, ergibt sich folgende Reihung:

1	Längenfeldgasse	60 s
2	Schottenring	50 s
3	Schwedenplatz	45 s
4	Hietzing	43 s
5	Karlsplatz	42 s
6	Wien Mitte / Landstraße	34 s
7	Pilgramgasse	34 s
8	Spittelau	31 s
9	Schönbrunn	30 s
10	Kettenbrückengasse	30 s
11	Braunschweigasse	30 s
12	Meidling Hauptstraße	30 s
13	Unter St. Veit	28 s
14	Friedensbrücke	29 s
15	Margaretengürtel	24 s
16	Stadtpark	24 s
17	Ober St. Veit	23 s
18	Roßauer Lände	21 s

Um die Reihung zu plausibilisieren wurden am 1. Oktober 2015 weitere vier Fahrten in der Morgenspitze zwischen 7:00 und 9:30 durchgeführt. Diese Plausibilitätsfahrten bestätigten das vorhin angeführte Ergebnis.

Mit Hilfe der ermittelten Daten konnte weiters festgestellt werden, dass die Fahrten von Endstation bis Endstation zwischen 29:06 min und 31:58 min dauern. Gemäß veröffentlichtem Fahrplan ist die Fahrzeit mit 29 min festgelegt. Die Schwankungsbreite der durchgeführten Fahrten liegt bei 10,23%.

### **2.3 Phase 2 – Datenerhebung und -darstellung**

In Phase 2 erfolgte die Untersuchung der in Phase 1 ermittelten maßgebenden Stationen. Die Erhebungen in Phase 2 wurden im Oktober und November 2015 in sechs Haltestellen der Linie U4 durchgeführt. Die Entscheidung zur Durchführung der Erhebungen im Oktober und November beruhte darauf, dass die U4 auf Grund der räumlichen Nähe zur Technischen Universität Wien von deren Studierenden stark genutzt wird und somit der Einfluss der Studierenden nicht vernachlässigt werden konnte, wodurch der Start des Wintersemesters (1. Oktober 2015) abgewartet wurde.

Alle Erhebungen in Phase 2 fanden in den Stoßzeiten, das heißt in der Morgenspitze zwischen 06:30 und 09:30 bzw. in der Abendspitze zwischen 16:00 und 18:00, statt.

Die Haltestellenaufenthaltszeiten der U-Bahn wurden von den Bahnsteigen aus erhoben. Bei der Erhebung wurden analog zur Phase 1 nachfolgende Daten erhoben:

- Datum und Uhrzeit der Durchführung
- Wetterverhältnisse
- Fahrzeugtyp
- Haltestellenaufenthaltszeiten
- Notizen außerordentlicher Ereignisse (z.B. große Gruppen, Halt auf der Strecke etc.)

<b>Datum:</b>	15.10.2015
<b>Uhrzeit Start:</b>	06:30
<b>Uhrzeit Ende:</b>	09:33
<b>Wetter Start:</b>	10° Schauer
<b>Wetter Ende:</b>	11° bewölkt

SCHWEDEENPLATZ							
Fahrriichtung: HEILIGENSTADT			Fahrriichtung:HUTTELDORF				
Anmerkungen	Wagenart		Haltestellen- aufenthaltszeit [s] / Zeitabstand zwischen Zügen [s]	Haltestellen- aufenthaltszeit [s] / Zeitabstand zwischen Zügen [s]	Wagenart		Anmerkungen
	V-Wagen	Silberpfeil			V-Wagen	Silberpfeil	
	x		21	28	x		
			257	105			
	x		26	20	x		
			173	137			
		x	20	32		x	
			537	214			
			92	28	x		
	x		34	296			
			361	32		x	
	x		37	178			
			98	22		x	
		x	31	281			
			65	45	x		Fahrgast hinter gelber Linie
		x	18	89			
			81	26	x		
		x	22	205			
			277	31		x	
betriebsbedingt u Fahrgastaufkommen	x		55	102			
			62	28		x	
		x	31	111			
			145	29	x		
		x	29	78			
			222	25		x	
	x		34	187			
			84	40	x		Volksschulklasse
	x		37	82			
			68	22		x	
		x	21	80			
			101	25		x	
		x	32	103			
			80	30		x	
		x	26	98			
			322	28	x		
		x	46	340			
			334	39		x	
	x		47	80			
			63	42		x	betriebsbedingt
		x	24	157			
			70	36	x		Volksschulklasse
		x	29	81			
			275	22		x	Gruppe
	x		38	124			
			67	30	x		
	x		20	287			Sonderzug

Abbildung 2.3: Beispiel Erhebungsblatt Phase 2

Im Unterschied zu Phase 1 wurde anstelle der Fahrzeit zwischen den Haltestellen der zeitliche Abstand zwischen dem Ausfahren des vorderen Zuges (Anfahruck) und dem Einfahren des Folgezuges (Anhalteruck) festgehalten.

Mittels der durchgeführten Erhebungen in Phase 2 konnte ein Datenumfang von insgesamt 1.135 gemessenen Haltestellenaufenthaltszeiten erreicht werden. Tabelle 2.1 zeigt die Zusammensetzung dieses Datenumfanges.

**Tabelle 2.1: Datenumfang Erhebungen – Phase 2**

<b>Haltestelle</b>	<b>Anzahl der erhobenen Haltestellenaufenthaltszeiten</b>
Hietzing	189
Karlsplatz	192
Längenfeldgasse	191
Schottenring	183
Schwedenplatz	192
Wien Mitte / Landstraße	188
<b>SUMME Phase 2</b>	<b>1.135</b>

### **2.3.1 Datenerhebung und –darstellung Morgen- bzw. Abendspitze je Haltestelle (Szenario 1)**

Die grafische Darstellung der Haltestellenaufenthaltszeiten erfolgt je Haltestelle und Fahrtrichtung sowie aufgeteilt in Morgen- und Abendspitze. Ausreißer sind jene Datenpunkte, welche mehr als 3 Sigma vom arithmetischen Mittel (kurz: MW) abweichen. Die Ausreißer sind in den Tabellen „Details Datenerhebung und Datenpunkte“ aufgelistet. Ebenfalls in dieser Tabelle ist die Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten zu finden, grafisch werden diese betriebsbedingt längeren Stehzeiten in den Diagrammen schwarz dargestellt.

Derzeit wird im System der Wiener U-Bahn zur Berechnung der Fahrzeit mit einer fixen Haltestellenaufenthaltszeit von 20 Sekunden gearbeitet. Da dieser Wert zum Teil stark von den erhobenen Daten abweicht, werden in der Folge Vorschläge für neue fixe Haltestellenaufenthaltszeiten gegeben, welche in den Diagrammen „relative Verteilung“ grafisch dargestellt werden. Diese Vorschläge sollen Anregungen zur Berücksichtigung von neuen Haltestellenaufenthaltszeiten bei zukünftigen Fahrzeitberechnungen geben.

Die Festlegung der fixen Haltestellenaufenthaltszeiten erfolgt dabei unter Berücksichtigung einer Mindeststeigung der Kurven von etwa 70°. Da für beide Fahrtrichtungen eine gemeinsame fixe Haltestellenaufenthaltszeit vorgeschlagen wird, werden die Bereiche an denen die Steigung von etwa 70° unterschritten wird einer gemeinsamen individuellen Analyse unterzogen, bei welcher ein ausschlaggebendes Kriterium die Höhe der in diesem Bereich vorhandenen Sprünge ist.

## Hietzing



Abbildung 2.4: Lage Haltestelle Hietzing [37] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

Umsteigerelationen:

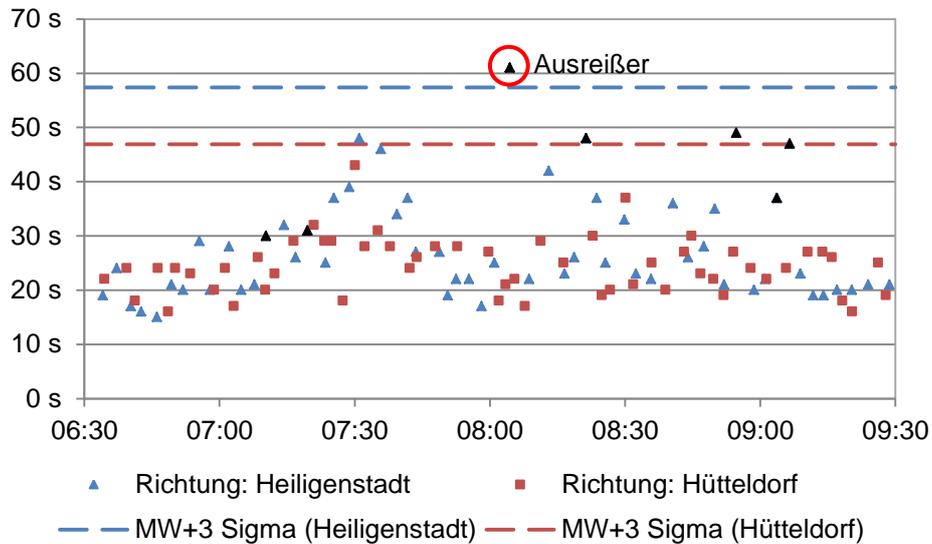
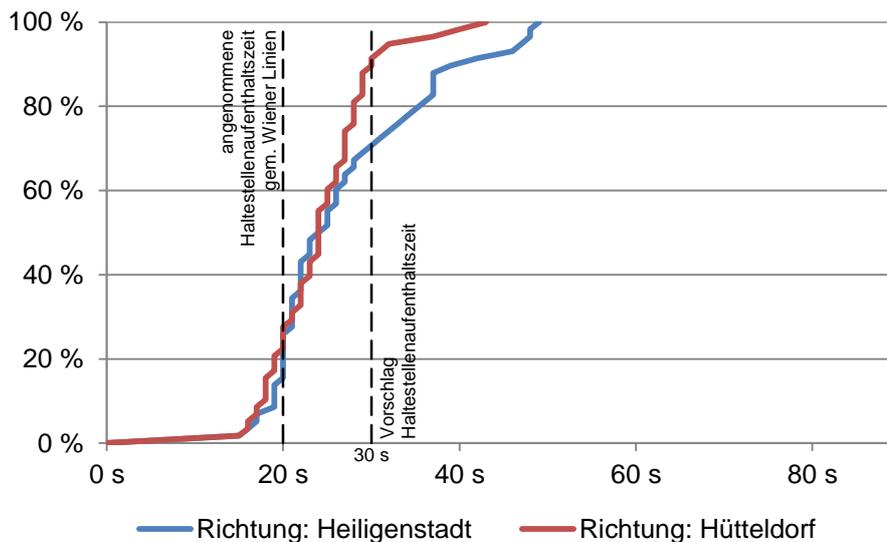
- Straßenbahn: 10, 58, 60
- Autobus: 51A, 56A, 56B, 58A

Das Stationsgebäude der Haltestelle Hietzing umfasst eine Überplattung des Wienflusses und ist im Stil von Otto Wagner gestaltet, die Station wurde bereits als Haltestelle der Stadtbahn genutzt. Die Seitenbahnsteige sind überdacht, die Gleise befinden sich im Freien. Die Fahrgäste können die Bahnsteigebene entweder über eine Rolltreppe oder über eine feste Stiege erreichen und verlassen. Auf jedem Bahnsteig befindet sich jeweils an der westlichen Seite ein Aufgang.

Tabelle 2.2: Hietzing Details Datenerhebung und Datenpunkte

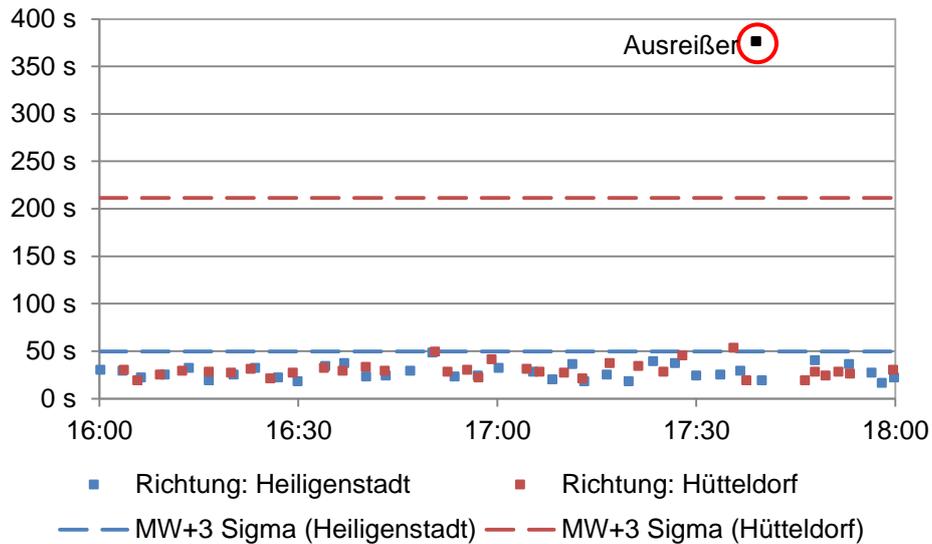
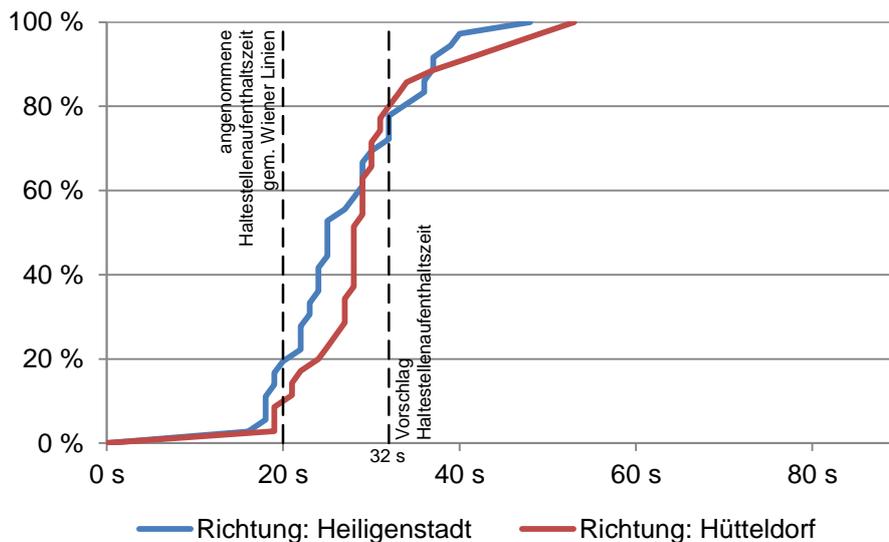
	Morgenspitze	Abendspitze	SUMME
<b>Allgemeines</b>			
Datum Datenerhebung	20.10.2015		
Witterungsbedingungen Beginn	7° Regen	11° meist bewölkt	
Witterungsbedingungen Ende	8° Schauer	10° meist bewölkt	
<b>Anzahl Haltestellenaufenthaltszeiten</b>			
Heiligenstadt	59	36	95
Hütteldorf	58	36	94
<b>SUMME</b>	<b>117</b>	<b>72</b>	<b>189</b>
<b>Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten</b>			
Heiligenstadt	7	0	7
Hütteldorf	0	1	1
<b>SUMME</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>8</b>
<b>Ausreißer</b>			
Heiligenstadt	61 s (08:04:23)*	-	
Hütteldorf	-	376 s (17:39:02)*	

\*betriebsbedingte längere Stehzeit

Morgenspitze**Diagramm 2.1: Hietzing Morgenspitze – absolute Verteilung****Diagramm 2.2: Hietzing Morgenspitze – relative Verteilung**

Wie in Diagramm 2.2 zu erkennen, flacht die Kurve in Fahrrichtung Heiligenstadt bei 29 Sekunden stark ab. Die Kurve in Fahrrichtung Hütteldorf weist auch nach 29 Sekunden eine stärkere Steigung auf. Legt man die Haltestellenaufenthaltszeit mit 30 Sekunden anstelle von 29 Sekunden fest, so können in Fahrrichtung Hütteldorf 6,9% mehr Halte innerhalb dieser Zeit durchgeführt werden. Vorgeschlagen wird demzufolge eine feste Haltestellenaufenthaltszeit von 30 .

**VORSCHLAG: 30 SEKUNDEN**

Abendspitze**Diagramm 2.3: Hietzing Abendspitze – absolute Verteilung****Diagramm 2.4: Hietzing Abendspitze – relative Verteilung**

Nach Sekunde 34 erfährt die Kurve Fahrtrichtung Hütteldorf eine starke Abflachung. In Richtung Heiligenstadt ist bei Sekunde 32 ein Sprung von 5,6% vorhanden. Dieser Sprung wird bei der Festlegung der neuen fixen Haltestellenaufenthaltszeit ausgenutzt. Der Vorschlag ist somit eine feste Haltestellenaufenthaltszeit von 32 Sekunden.

**VORSCHLAG: 32 SEKUNDEN**

## Längenfeldgasse



Abbildung 2.5: Lage Haltestelle Längenfeldgasse [37] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

Umsteigerrelationen:

- U-Bahn: U6
- Autobus: 12A

Die Haltestelle Längenfeldgasse ist auf der Linie U4 betrieblich gesehen einzigartig. In der Station sind zwei Mittelbahnsteige vorhanden. Die beiden Bahnsteige sind jedoch nicht je einer U-Bahn Linie zugeordnet, sondern der Knotenpunkt wird derart bedient, dass die in Richtung Osten verlassenden Züge der Linie U4 und U6 einen gemeinsamen Bahnsteig benutzen, die in Richtung Westen wiederum gemeinsam den anderen. Jeweils am Ende der Bahnsteige befinden sich die Ausgänge. Die gesamte Station ist geschlossen und befindet sich in Tieflage in direkter Nähe zum Wienfluss. Nach der Station Spittelau ist es die jüngste Station auf der Linie U4.



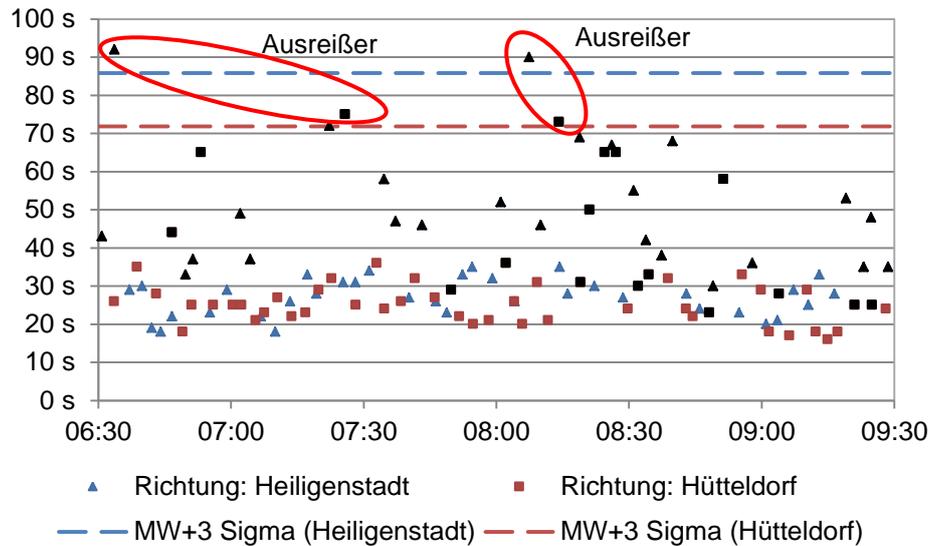
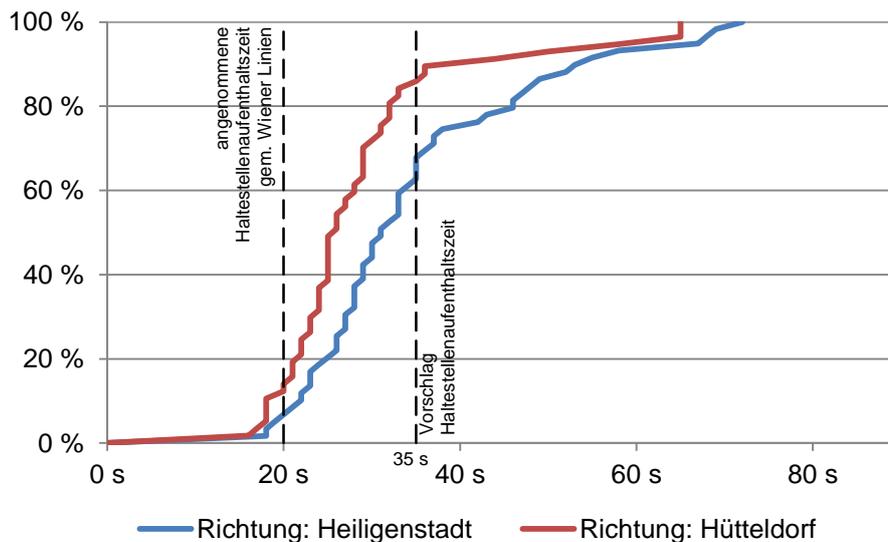
Abbildung 2.6: Haltestelle Längenfeldgasse Blick Richtung Osten

Tabelle 2.3: Längenfeldgasse Details Datenerhebung und Datenpunkte

	Morgenspitze	Abendspitze	SUMME
<b>Allgemeines</b>			
Datum Datenerhebung	17.11.2015		
Witterungsbedingungen Beginn	13° teilweise bewölkt	16° Schauer	
Witterungsbedingungen Ende	14° meist bewölkt	14° meist bewölkt	
<b>Anzahl Haltestellenaufenthaltszeiten</b>			
Heiligenstadt	61	36	97
Hütteldorf	59	35	94
<b>SUMME</b>	<b>120</b>	<b>71</b>	<b>191</b>
<b>Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten</b>			
Heiligenstadt	25 (1*)	15 (1*)	40 (2*)
Hütteldorf	17 (1*)	19 (0*)	36 (1*)
<b>SUMME</b>	<b>42 (2*)</b>	<b>34 (1*)</b>	<b>76 (3*)</b>
<b>Ausreißer</b>			
Heiligenstadt	92 s (06:33:37)** 90 s (08:07:23)**	86 s (16:36:21)**	
Hütteldorf	75 s (07:25:45)** 73 s (08:14:09)**	93 s (16:30:46)** 93 s (17:45:30)**	

\*davon NICHT auf Grund Synchronisationszeit zur am gleichen Bahnsteig haltenden U6-Linie

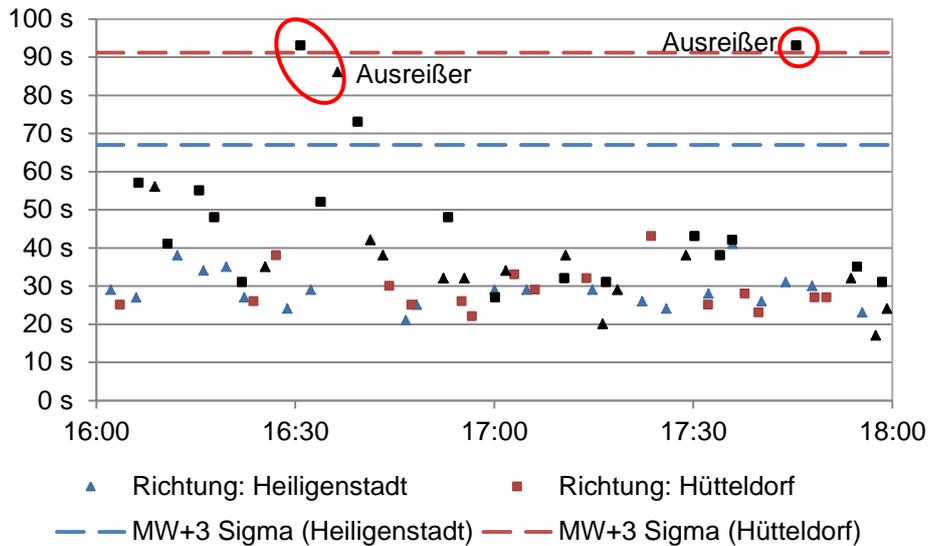
\*\*betriebsbedingte längere Stehzeit (U6 Synchronisation)

Morgenspitze**Diagramm 2.5: Längelfeldgasse Morgenspitze – absolute Verteilung****Diagramm 2.6: Längelfeldgasse Morgenspitze – relative Verteilung**

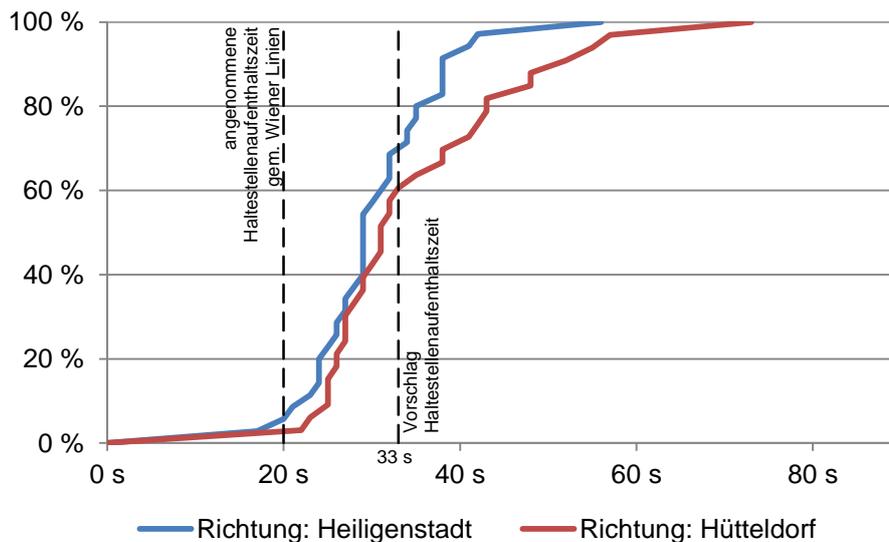
Die Kurve Richtung Hütteldorf flacht bei einer Haltestellenaufenthaltszeit von 36 Sekunden extrem ab, somit ist eine Festlegung unterhalb dieser Zeit anzustreben. Bei Festlegung der neuen Zeit ist der Sprung bei 35 Sekunden der Kurve Richtung Heiligenstadt auszunutzen, ein größerer Sprung ist nach 35 Sekunden nicht mehr vorhanden. Der Vorschlag lautet dadurch eine feste Haltestellenaufenthaltszeit von 35 Sekunden einzusetzen.

**VORSCHLAG: 35 SEKUNDEN**

Abendspitze



**Diagramm 2.7: Längelfeldgasse Abendspitze – absolute Verteilung**



**Diagramm 2.8: Längelfeldgasse Abendspitze – relative Verteilung**

Die Kurve in Fahrtrichtung Hütteldorf flacht bereits ziemlich früh ab, wohingegen in Richtung Heiligenstadt die Kurve erst bei 42 Sekunden rasch abflacht. Um über 50% der Halte in der festgelegten Haltestellenaufenthaltszeit durchführen zu können und möglichst die stärkeren Steigungen der Kurve Richtung Hütteldorf auszunützen, wird eine Festlegung von 33 Sekunden vorgeschlagen.

**VORSCHLAG: 33 SEKUNDEN**

## Karlsplatz



Abbildung 2.7: Lage Haltestelle Karlsplatz [37] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

Umsteigerrelationen:

- U-Bahn: U1, U2
- Straßenbahn: 1, 2, 62, 71, D, WLB
- Autobus: 2A, 4A, 59A

Die Haltestelle Karlsplatz ist ein wichtiger Verkehrsknotenpunkt im Wiener U-Bahn Netz. Es ist die einzige Station, an der sich drei U-Bahn Linien kreuzen. Der gesamte U-Bahn Knoten befindet sich unter Tage, an der Oberfläche sind Busse und Straßenbahnen zu finden. Die U4 Haltestelle ist mit einem Mittelbahnsteig ausgebildet und hat jeweils am Ende einen Ausgang. Die beiden anderen U-Bahn Linien können, auch ohne das U-Bahn System verlassen zu müssen, erreicht werden, denn dazu ist ein zusätzlicher Abgang vom Bahnsteig zum Verbindungsbauwerk vorhanden. Insgesamt bestehen somit drei Möglichkeiten, den Bahnsteig zu verlassen bzw. zu betreten.



Abbildung 2.8: Haltestelle Karlsplatz Blick Richtung Westen



Abbildung 2.9: Haltestelle Karlsplatz Blick Richtung Osten

Tabelle 2.4: Karlsplatz Details Datenerhebung und Datenpunkte

	Morgenspitze	Abendspitze	SUMME
<b>Allgemeines</b>			
Datum Datenerhebung	22.10.2015		
Witterungsbedingungen Beginn	8° teilweise bewölkt	12° meist bewölkt	
Witterungsbedingungen Ende	8° meist bewölkt	11° meist bewölkt	
<b>Anzahl Haltestellenaufenthaltszeiten</b>			
Heiligenstadt	60	37	97
Hütteldorf	59	36	95
<b>SUMME</b>	<b>119</b>	<b>73</b>	<b>192</b>
<b>Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten</b>			
Heiligenstadt	2	2	4
Hütteldorf	2	1	3
<b>SUMME</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
<b>Ausreißer</b>			
Heiligenstadt	92 s (06:32:38)*	95 s (16:28:39)*	
Hütteldorf	151 s (08:27:17)*	198 s (16:37:02)*	

\*betriebsbedingte längere Stehzeit

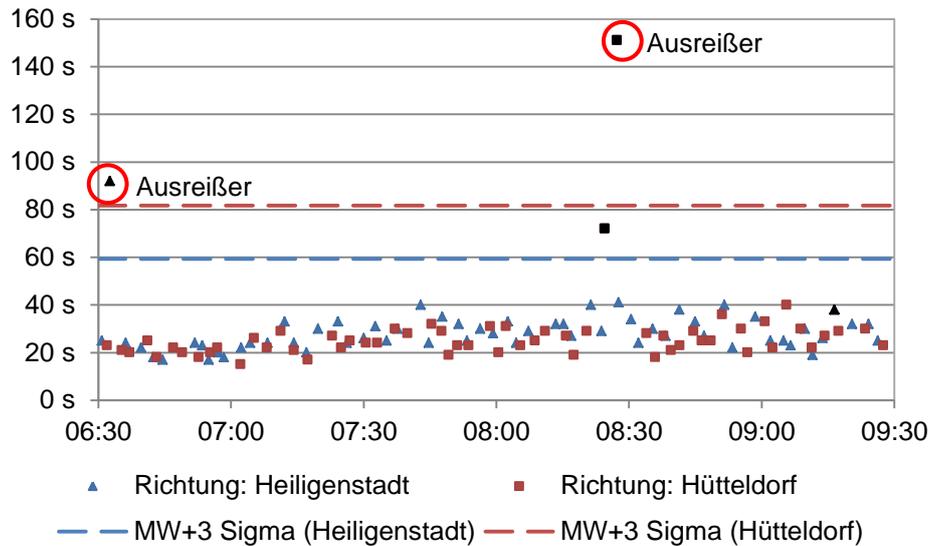
Morgenspitze

Diagramm 2.9: Karlsplatz Morgenspitze – absolute Verteilung

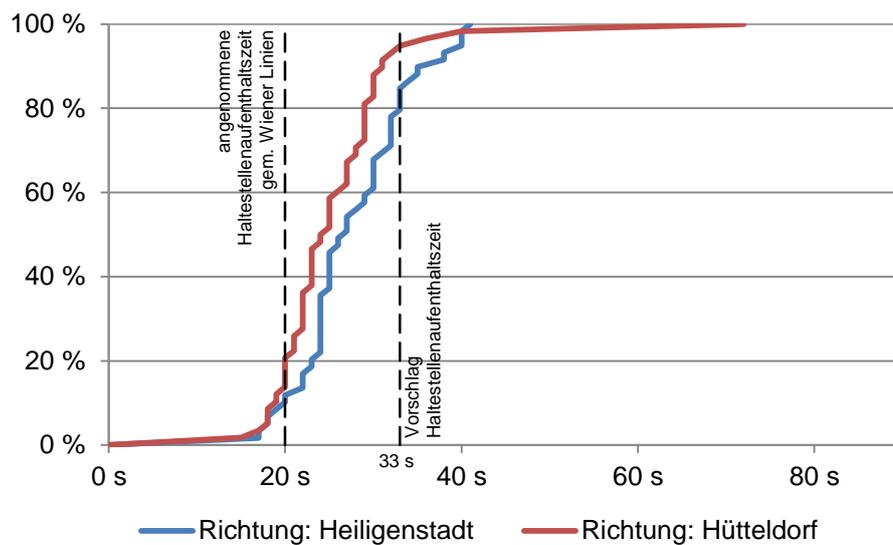


Diagramm 2.10: Karlsplatz Morgenspitze – relative Verteilung

Die Kurve Richtung Hütteldorf besitzt bis 32 Sekunden eine Steigung von über 70°, in Richtung Heiligenstadt wird diese ab 35 Sekunden lediglich einmal an der Stelle von 41 Sekunden überschritten. Da es in Fahrtrichtung Hütteldorf ab 33 Sekunden keine wesentlichen Steigerungen gibt, wird es als sinnvoll erachtet, die neue feste Haltestellenaufenthaltszeit auf 33 Sekunden festzulegen.

**VORSCHLAG: 33 SEKUNDEN**

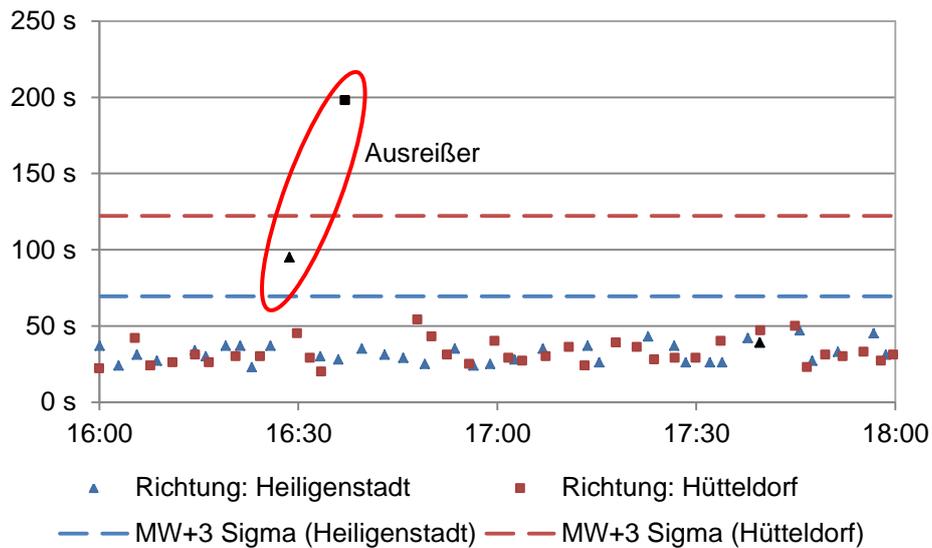
Abendspitze

Diagramm 2.11: Karlsplatz Abendspitze – absolute Verteilung

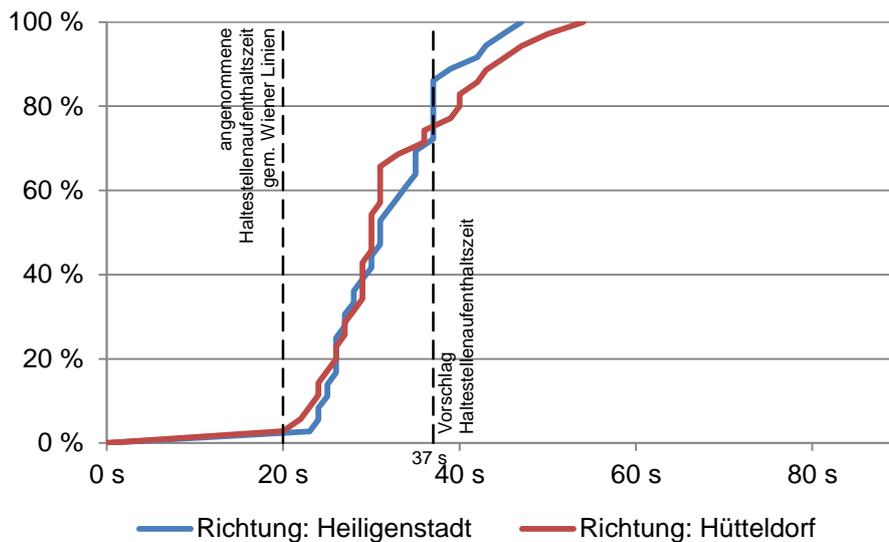


Diagramm 2.12: Karlsplatz Abendspitze – relative Verteilung

Bei einer Haltestellenaufenthaltszeit von 33 Sekunden flacht die Kurve Richtung Hütteldorf stark ab. Eine Steigung von 70° wird nicht unterschritten. Um den Sprung von 8,3% bei der Kurve in Richtung Heiligenstadt bei einer Zeit von 37 Sekunden auszunützen, wird eine feste Haltestellenaufenthaltszeit von 37 Sekunden vorgeschlagen.

**VORSCHLAG: 37 SEKUNDEN**

## Wien Mitte / Landstraße



Abbildung 2.10: Lage Haltestelle Wien Mitte / Landstraße [37] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

Umsteigerelationen:

- Züge des Nahverkehrs
- S-Bahn: S1, S2, S3, S4, S7, S80
- U-Bahn: U3
- Straßenbahn: O
- Autobus: 74A

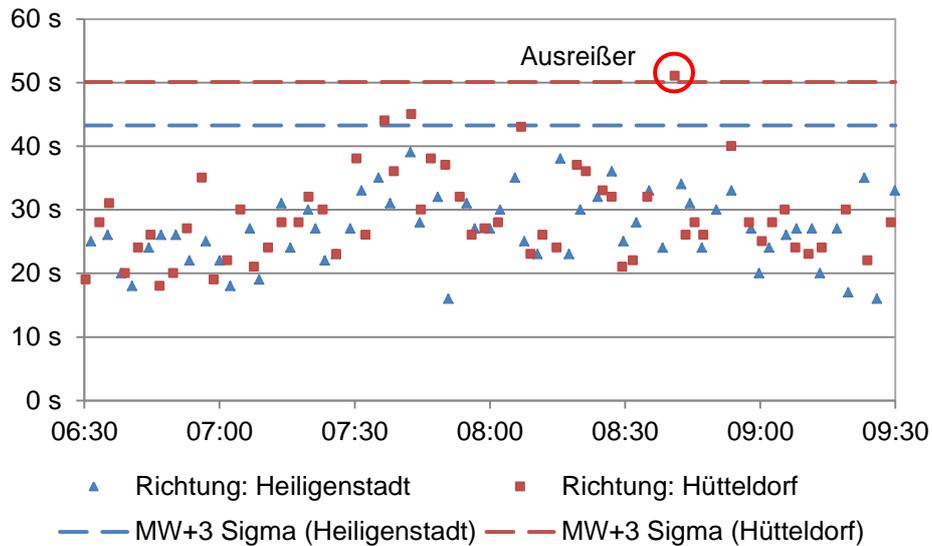
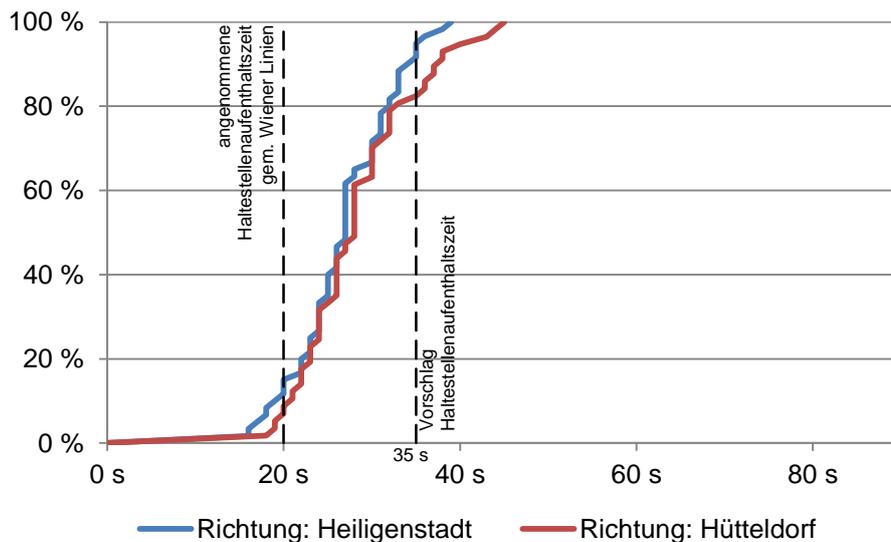
Die Haltestelle Wien Mitte / Landstraße besitzt an den Enden des Bahnsteigs je einen Ausgang. Einer dieser Ausgänge führt direkt an die Oberfläche, der zweite in ein Verbindungsbauwerk, um den Umstieg zur Linie U3 zu ermöglichen. Vom Verbindungsbauwerk aus sind wiederum Ausgänge an die Oberfläche vorhanden. Die U4 Haltestelle ist mit einem Mittelbahnsteig ausgebildet. Die gesamte Station ist in Tiefelage und geschlossen ausgeführt.



Abbildung 2.11: Haltestelle Wien Mitte / Landstraße während der Kampagne Saubere Öffis

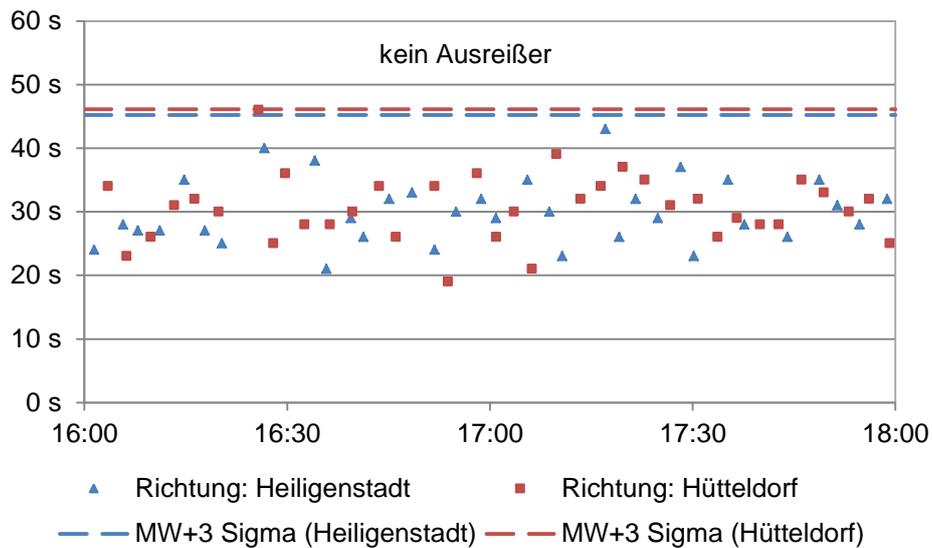
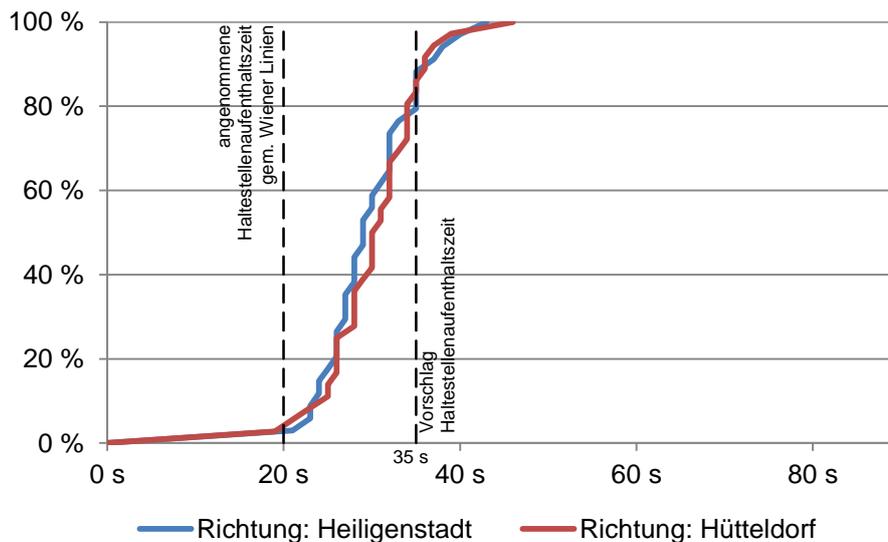
Tabelle 2.5: Wien Mitte – Landstraße Details Datenerhebung und Datenpunkte

	<b>Morgenspitze</b>	<b>Abendspitze</b>	<b>SUMME</b>
<b>Allgemeines</b>			
Datum Datenerhebung	18.11.2015		
Witterungsbedingungen Beginn	16° meist wolkenlos	17° sonnig	
Witterungsbedingungen Ende	18° sonnig	14° wolkenlos	
<b>Anzahl Haltestellenaufenthaltszeiten</b>			
Heiligenstadt	60	34	94
Hütteldorf	58	36	94
<b>SUMME</b>	<b>118</b>	<b>70</b>	<b>188</b>
<b>Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten</b>			
Heiligenstadt	0	0	0
Hütteldorf	0	0	0
<b>SUMME</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Ausreißer</b>			
Heiligenstadt	-	-	-
Hütteldorf	51 s (08:41:03)		-

Morgenspitze**Diagramm 2.13: Wien Mitte / Landstraße Morgenspitze – absolute Verteilung****Diagramm 2.14: Wien Mitte / Landstraße Morgenspitze – relative Verteilung**

Die Kurve in Richtung Heiligenstadt besitzt eine relativ große Steigung, nur die letzten 4% weisen eine flachere Steigung auf. Die Kurve in Richtung Hütteldorf flacht bereits einige Sekunden früher ab. Um das große Potential der Kurve Richtung Heiligenstadt zu nutzen, wird eine feste Haltestellenaufenthaltszeit von 35 Sekunden vorgeschlagen.

**VORSCHLAG: 35 SEKUNDEN**

Abendspitze**Diagramm 2.15: Wien Mitte / Landstraße Abendspitze – absolute Verteilung****Diagramm 2.16: Wien Mitte / Landstraße Abendspitze – relative Verteilung**

Analog zur Morgenspitze weist auch die Abendspitze eine große Steigung auf. Auf den letzten 3% ist bei beiden Kurven eine geringere Steigung als  $70^\circ$  vorhanden. Der Sprung der Kurve in Richtung Heiligenstadt bei 35 Sekunden besitzt eine Größe von 8,8%. Die Kurve in Richtung Hütteldorf besitzt bei Sekunde 34 einen Sprung von 8,3%. Unter Berücksichtigung dieser beider Sprünge wird eine feste Haltestellenaufenthaltszeit von 35 Sekunden zur weiteren Auswertung festgelegt.

**VORSCHLAG: 35 SEKUNDEN**

## Schwedenplatz



Abbildung 2.12: Lage Haltestelle Schwedenplatz [37] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

Umsteigerelationen:

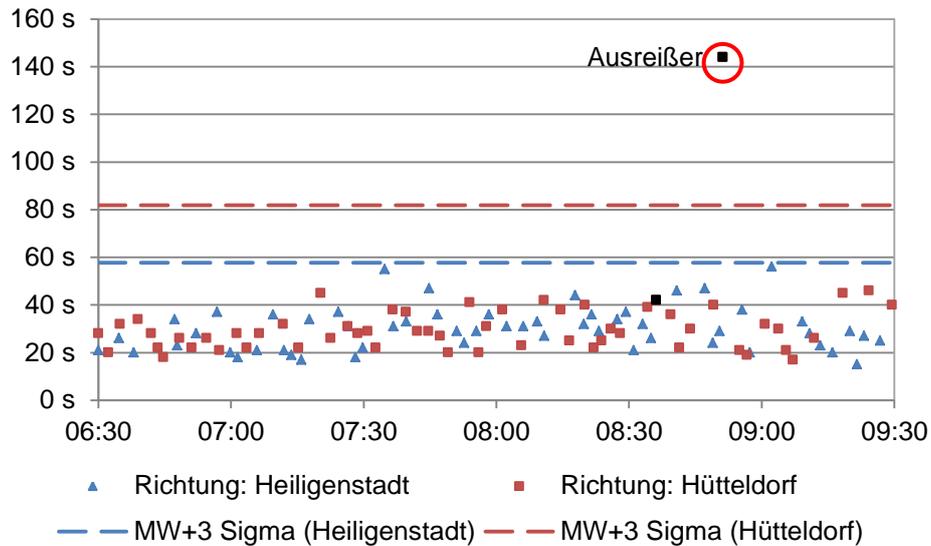
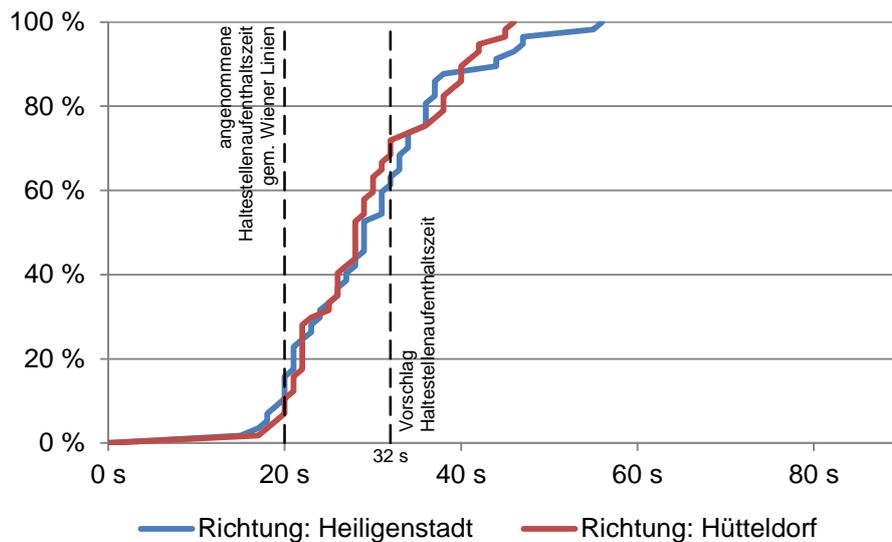
- U-Bahn: U1
- Straßenbahn: 1, 2
- Autobus: 2A

Die Haltestelle Schwedenplatz der Linie U4 ist mit zwei Ausgängen versehen. Der östliche Ausgang führt an die Oberfläche. Der westliche Ausgang führt zu einem Verbindungsbauwerk, um zur Linie U1 wechseln zu können, über diese Verbindung gelangt man schließlich auch an die Oberfläche. Auch hier ist der Bahnsteig als Mittelbahnsteig ausgeführt. Die gesamte Station befindet sich in einer geschlossenen Tieflage.

Tabelle 2.6: Schwedenplatz Details Datenerhebung und Datenpunkte

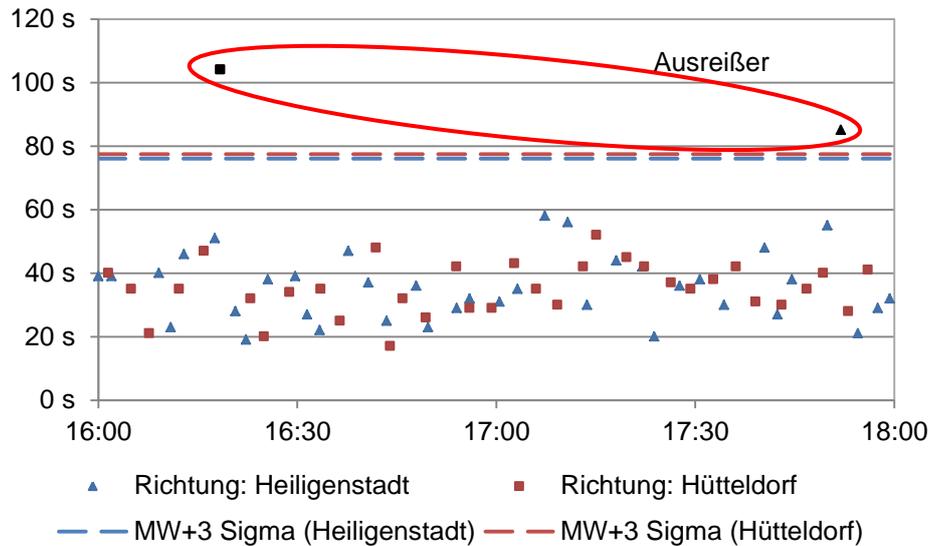
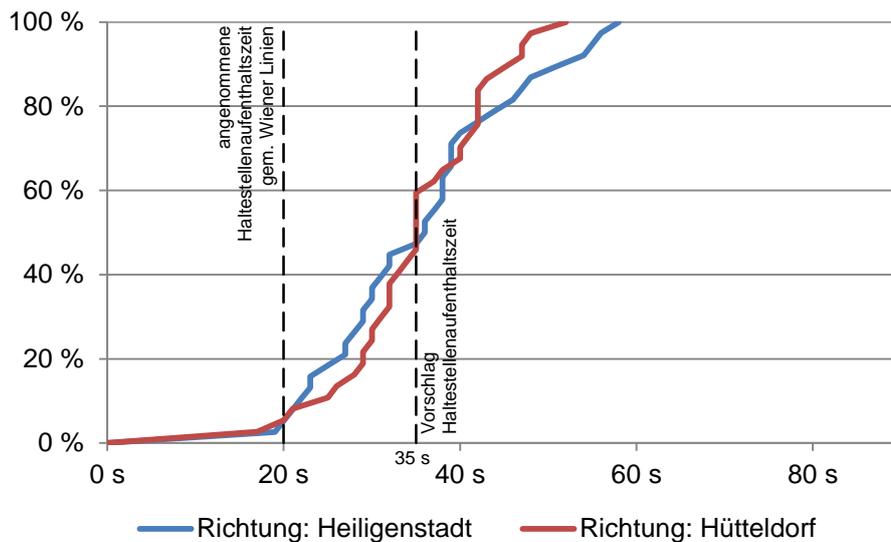
	Morgenspitze	Abendspitze	SUMME
<b>Allgemeines</b>			
Datum Datenerhebung	15.10.2015		
Witterungsbedingungen Beginn	10° Schauer	12° Regen	
Witterungsbedingungen Ende	11° bewölkt	12° Schauer	
<b>Anzahl Haltestellenaufenthaltszeiten</b>			
Heiligenstadt	57	39	96
Hütteldorf	58	38	96
<b>SUMME</b>	<b>115</b>	<b>77</b>	<b>192</b>
<b>Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten</b>			
Heiligenstadt	0	1	1
Hütteldorf	2	1	3
<b>SUMME</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>Ausreißer</b>			
Heiligenstadt	-	85 s (17:51:54)*	
Hütteldorf	144 s (08:51:12)*	104 s (16:18:21)*	

\*betriebsbedingte längere Stehzeit

Morgenspitze**Diagramm 2.17: Schwedenplatz Morgenspitze – absolute Verteilung****Diagramm 2.18: Schwedenplatz Morgenspitze – relative Verteilung**

In Fahrtrichtung Hütteldorf ist zu erkennen, dass die Kurve nach Sekunde 32 wesentlich abflacht (unter 70°) und erst bei Sekunde 38 wieder stärker ansteigt. Die Kurve Richtung Heiligenstadt wiederum bildet zwischen Sekunde 38 und 44 ein Plateau aus. Unter Berücksichtigung dieser flachen Stellen wird vorgeschlagen, die feste Haltestellenaufenthaltszeit mit 32 Sekunden festzulegen.

**VORSCHLAG: 32 SEKUNDEN**

Abendspitze**Diagramm 2.19: Schwedenplatz Abendspitze – absolute Verteilung****Diagramm 2.20: Schwedenplatz Abendspitze – relative Verteilung**

Die in Diagramm 2.20 dargestellten Kurven sind eher flach. Lediglich an einzelnen Stellen ist die Neigung etwa  $80^\circ$ , meistens jedoch zwischen  $50^\circ$  und  $70^\circ$ . Es wird vorgeschlagen, den Sprung in Höhe von 13,2% bei Sekunde 35 in Richtung Hütteldorf zu berücksichtigen und die neue feste Haltestellenaufenthaltszeit mit 35 Sekunden festzulegen.

**VORSCHLAG: 35 SEKUNDEN**

## Schottenring



Abbildung 2.13: Lage Haltestelle Schottenring [37] (leicht modifiziert – eigene Darstellung)

Umsteigerelationen:

- U-Bahn: U2
- Straßenbahn: 1, 31
- Autobus: 3A

Die Haltestelle Schottenring befindet sich in Tieflage und ist geschlossen ausgeführt. Die Ausgänge sowie der Verbindungsgang zur U2 sind an den Bahnsteigenden situiert. Auf dem Mittelbahnsteig ist eine Bäckerei vorhanden. Trotz der Ausbildung als Mittelbahnsteig sind die beiden Bahnsteigkanten weit voneinander entfernt und zwischen den beiden Gleisen befinden sich lediglich sehr wenige Querverbindungen für die Fahrgäste.



Abbildung 2.14: Haltestelle Schottenring

Bei der Erhebung der Morgenspitze war laut Lautsprecherdurchsagen eine Betriebsstörung gegeben. Um die Auswirkung einer Betriebsstörung auf Haltestellenaufenthaltszeiten darzustellen, wurde die Erhebung vollständig weitergeführt.

Tabelle 2.7: Schottenring Details Datenerhebung und Datenpunkte

	Morgenspitze	Abendspitze	SUMME
<b>Allgemeines</b>			
Datum Datenerhebung	21.10.2015		
Witterungsbedingungen Beginn	8° bewölkt	11° meist bewölkt	
Witterungsbedingungen Ende	8° meist bewölkt	11° meist bewölkt	
<b>Anzahl Haltestellenaufenthaltszeiten</b>			
Heiligenstadt	54	37	91
Hütteldorf	57	35	92
<b>SUMME</b>	<b>111</b>	<b>72</b>	<b>183</b>
<b>Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten</b>			
Heiligenstadt	3	0	3
Hütteldorf	17	12	29
<b>SUMME</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>32</b>
<b>Ausreißer</b>			
Heiligenstadt	94 s (08:33:29)*	-	
Hütteldorf	146 s (07:31:19)* 235 s (08:16:26)*	87 s (17:42:52)*	

\*betriebsbedingte längere Stehzeit

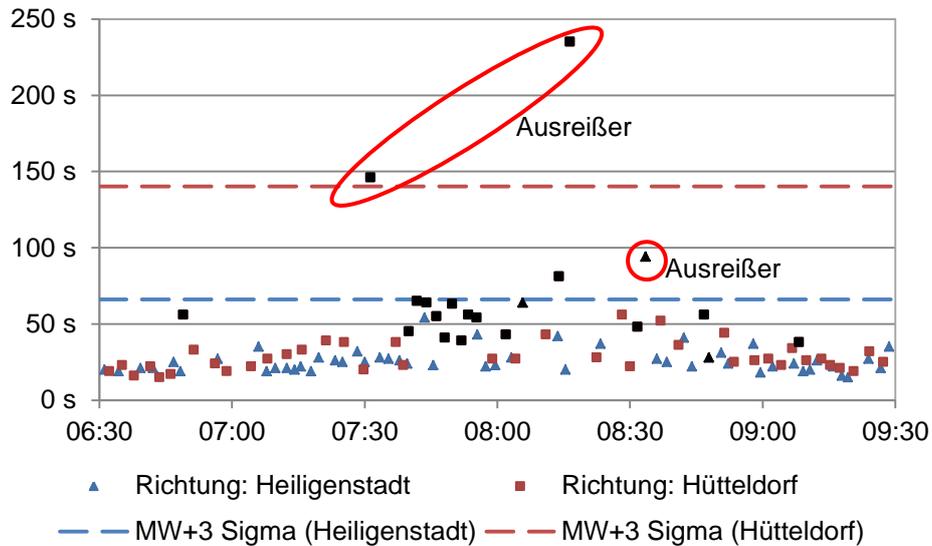
Morgenspitze

Diagramm 2.21: Schottenring Morgenspitze – absolute Verteilung

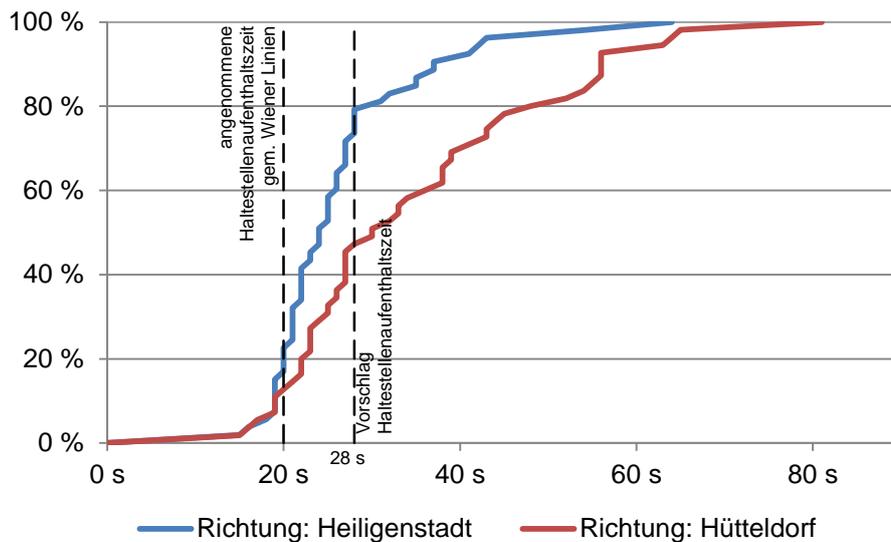


Diagramm 2.22: Schottenring Morgenspitze – relative Verteilung

Die beiden Kurven weisen sehr unterschiedliche Steigungen auf. Es wird vorgeschlagen, die feste Haltestellenaufenthaltszeit mit 28 Sekunden festzulegen, denn dabei wird der Sprung der Kurve in Richtung Heiligenstadt bei Sekunde 8 und der Sprung der Kurve in Richtung Hütteldorf bei Sekunde 27 genutzt. Auch wird bei beiden Kurven ab Sekunde 28 die Steigung von 70° unterschritten. Um eine realistischere Abschätzung abgeben zu können sind erneute Erhebungen erforderlich, um den Einfluss der in den Daten enthaltenen Betriebsstörung zu entfernen.

VORSCHLAG: 28 SEKUNDEN

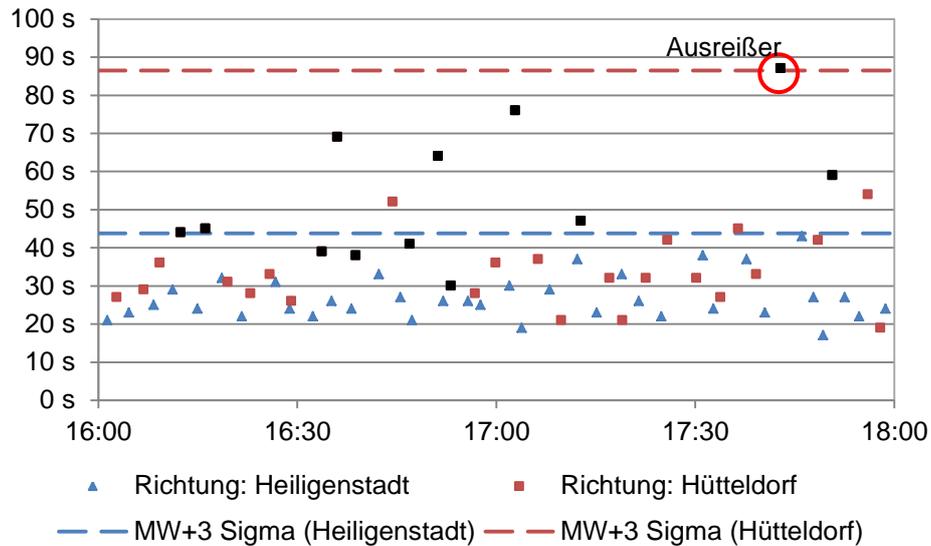
Abendspitze

Diagramm 2.23: Schottenring Abendspitze – absolute Verteilung

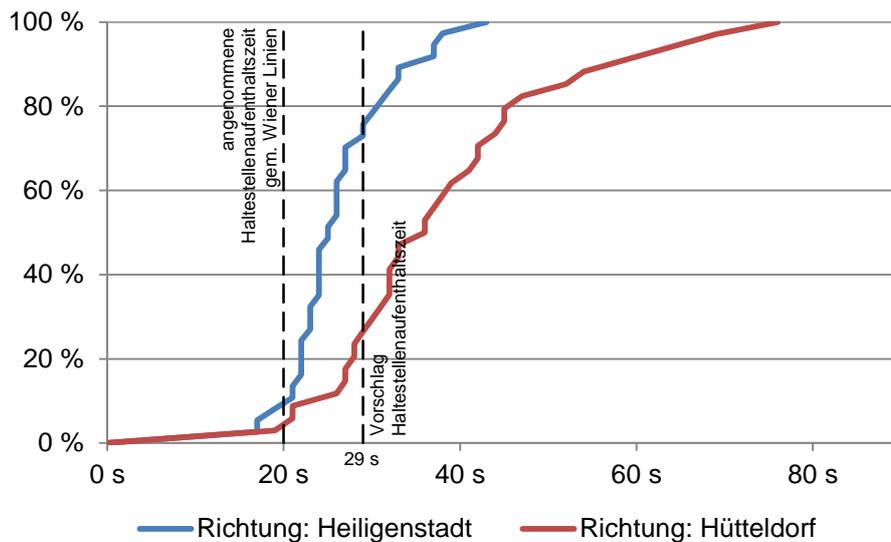


Diagramm 2.24: Schottenring Abendspitze – relative Verteilung

Analog zur Morgenspitze sind auch hier die Kurven der jeweiligen Fahrtrichtungen in ihrer Steigung sehr unterschiedlich. Die Steigung von  $70^\circ$  wird in Fahrtrichtung Heiligenstadt bei Sekunde 30 unterschritten. In Fahrtrichtung Hütteldorf steigt die Kurve zuerst sehr flach an, erst ab Sekunde 27 wird eine Steigung von  $70^\circ$  überschritten, jedoch flacht diese bereits bei Sekunde 30 wieder auf annähernd  $70^\circ$  ab. Es wird vorgeschlagen, die feste Haltestellenaufenthaltszeit an jener Stelle, an welcher die Steigung der Kurve Richtung Heiligenstadt abflacht, zu platzieren, wodurch auch die stärkeren Steigungen der Kurve in Richtung Hütteldorf ausgenützt werden können.

VORSCHLAG: 29 SEKUNDEN

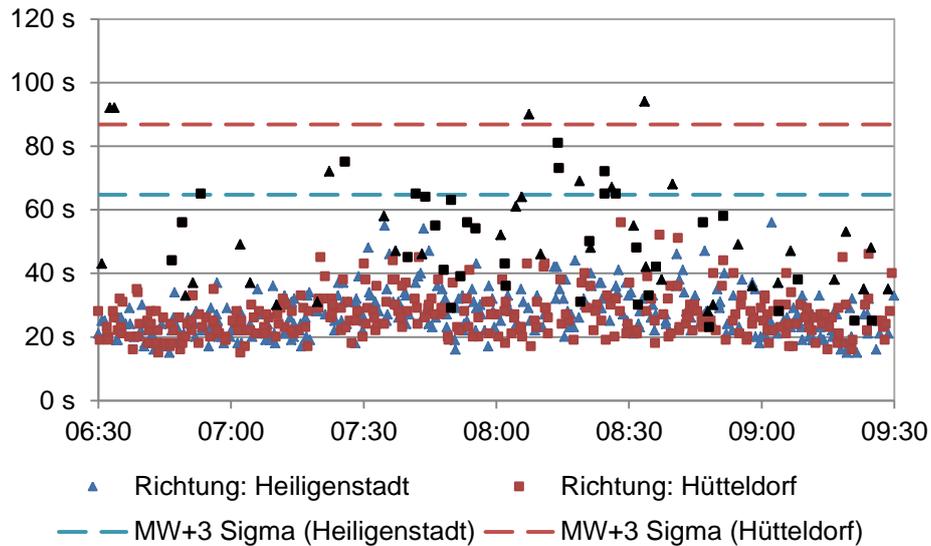
### 2.3.2 Datendarstellung Gesamtwerte Morgen- bzw. Abendspitze (Szenario 2)

Tabelle 2.8: Gesamt Details Datenerhebung und Datenpunkte

	Morgenspitze	Abendspitze	SUMME
<b>Anzahl Haltestellenaufenthaltszeiten</b>			
Heiligenstadt	351	219	570
Hütteldorf	349	216	565
<b>SUMME</b>	<b>700</b>	<b>435</b>	<b>1.135</b>
<b>Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten</b>			
Heiligenstadt	37	18	55
Hütteldorf	38	34	72
<b>SUMME</b>	<b>75</b>	<b>52</b>	<b>127</b>
<b>Ausreißer</b>			
Heiligenstadt	Schottenring: 94 s (08:33:29)* Karlsplatz: 92 s (06:32:38)* Längenfeldgasse: 92 s (06:33:37)* 72 s (07:22:13)* 90 s (08:07:23)* 69 s (08:18:47)* 67 s (08:26:04)* 68 s (08:39:50)*	Schwedenplatz: 85 s (17:51:54)* Karlsplatz: 95 s (16:28:39)* Längenfeldgasse: 86 s (16:36:21)*	
Hütteldorf	Schwedenplatz: 144 s (08:51:12)* Schottenring: 146 s (07:31:19)* 235 s (08:16:26)* Karlsplatz: 151 s (08:27:17)*	Hietzing: 376 s (17:39:02)* Karlsplatz: 198 s (16:37:02)*	

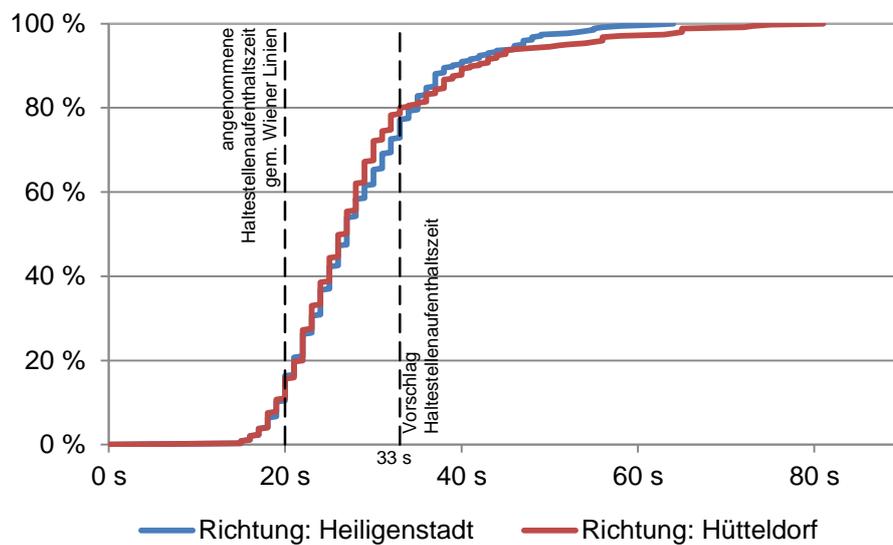
\*betriebsbedingte längere Stehzeit

Die nachfolgenden Diagramme stellen die Haltestellenaufenthaltszeiten der sechs betrachteten Haltestellen getrennt sowohl nach Morgen- und Abendspitze als auch nach beiden Fahrtrichtungen dar.

Morgenspitze

**Diagramm 2.25: Gesamt Morgenspitze – absolute Verteilung**

Diagramm 2.25 enthält auch alle Ausreißer (siehe dazu Tabelle 2.8). Um die Übersichtlichkeit des Diagramms zu gewährleisten wurde, im Gegensatz zu den Betrachtungen der einzelnen Haltestellen, keine zusätzliche Markierung eingefügt.



**Diagramm 2.26: Gesamt Morgenspitze – relative Verteilung**

Eine Abflachung der Kurve Richtung Hütteldorf ist ab Sekunde 33 erkennbar. Ab dieser wird die Steigung von 70° unterschritten, weshalb 33 Sekunden als feste Haltestellenaufenthaltszeit zur weiteren Auswertung fixiert wird.

**VORSCHLAG: 33 SEKUNDEN**

Nachstehend sind in Tabelle 2.9 und Tabelle 2.10 für die Morgenspitze Minimum, Maximum, arithmetisches Mittel, Median und 75%-Quantil dargestellt. Tabelle 2.9 stellt die Werte der Fahrtrichtung Heiligenstadt dar, Tabelle 2.10 beinhaltet die Fahrtrichtung Hütteldorf. Vergleicht man die Werte der beiden Fahrtrichtungen, so ist erkennbar, dass in den beiden Stationen Längenfeldgasse und Schottenring die durchschnittlichen Haltestellenaufenthaltszeiten breit gestreut sind. Das arithmetische Mittel gesamt ist hingegen bei beiden Fahrtrichtungen 29 Sekunden.

Tabelle 2.9: Morgenspitze, Fahrtrichtung Heiligenstadt – statistische Werte (alle Werte in Sekunden)

Haltestelle	Min	Max	Arithm. Mittel	50%-Quantil (Median)	75%-Quantil
Hietzing	15	49	27	25	33
Karlsplatz	17	41	28	27	32
Längenfeldgasse	18	72	35	31	40
Schottenring	15	64	27	24	28
Schwedenplatz	15	56	30	29	36
Wien Mitte / Landstraße	16	39	27	27	31
<b>GESAMT</b>	<b>15</b>	<b>64</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>33</b>

Tabelle 2.10: Morgenspitze, Fahrtrichtung Hütteldorf – statistische Werte (alle Werte in Sekunden)

Haltestelle	Min	Max	Arithm. Mittel	50%-Quantil (Median)	75%-Quantil
Hietzing	15	43	24	24	28
Karlsplatz	15	72	26	25	29
Längenfeldgasse	16	65	29	26	31
Schottenring	15	81	35	30	44
Schwedenplatz	17	46	29	28	36
Wien Mitte / Landstraße	18	45	28	28	32
<b>GESAMT</b>	<b>15</b>	<b>81</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>32</b>

Ermittelt man die statistischen Werte gesamt und zwar unabhängig von der Fahrtrichtung, so ergeben sich Werte gemäß Tabelle 2.11.

Tabelle 2.11: Gesamt Morgenspitze, beide Fahrtrichtungen – statistische Werte (alle Werte in Sekunden)

Min	Max	Arithm. Mittel	50%-Quantil (Median)	75%-Quantil
15	81	29	27	32

Die nachfolgende Normalverteilung dient der Verdeutlichung der durchschnittlichen Haltestellenaufenthaltszeiten.

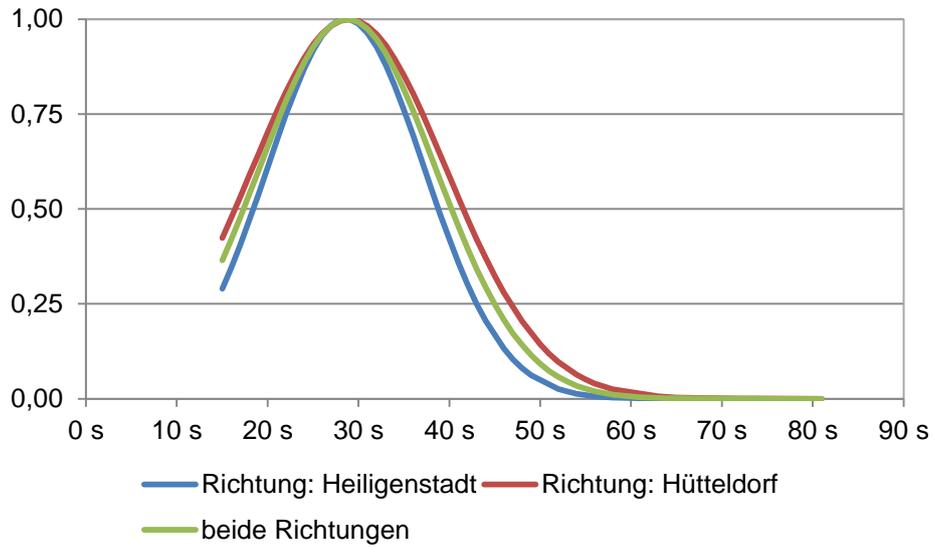


Diagramm 2.27: Gesamt Morgenspitze – Normalverteilung

Nachstehende Häufigkeitsverteilung zeigt auf, dass die meisten Haltestellenaufenthaltszeiten in Fahrtrichtung Hütteldorf im Bereich zwischen 20 und 25 Sekunden bzw. zwischen 25 und 30 Sekunden liegen, in Fahrtrichtung Heiligenstadt liegen sie ebenfalls am häufigsten im Bereich zwischen 20 und 25 Sekunden. Weiters ist ersichtlich, dass unabhängig von der Fahrtrichtung der Bereich zwischen 20 und 25 Sekunden insgesamt am häufigsten auftritt.

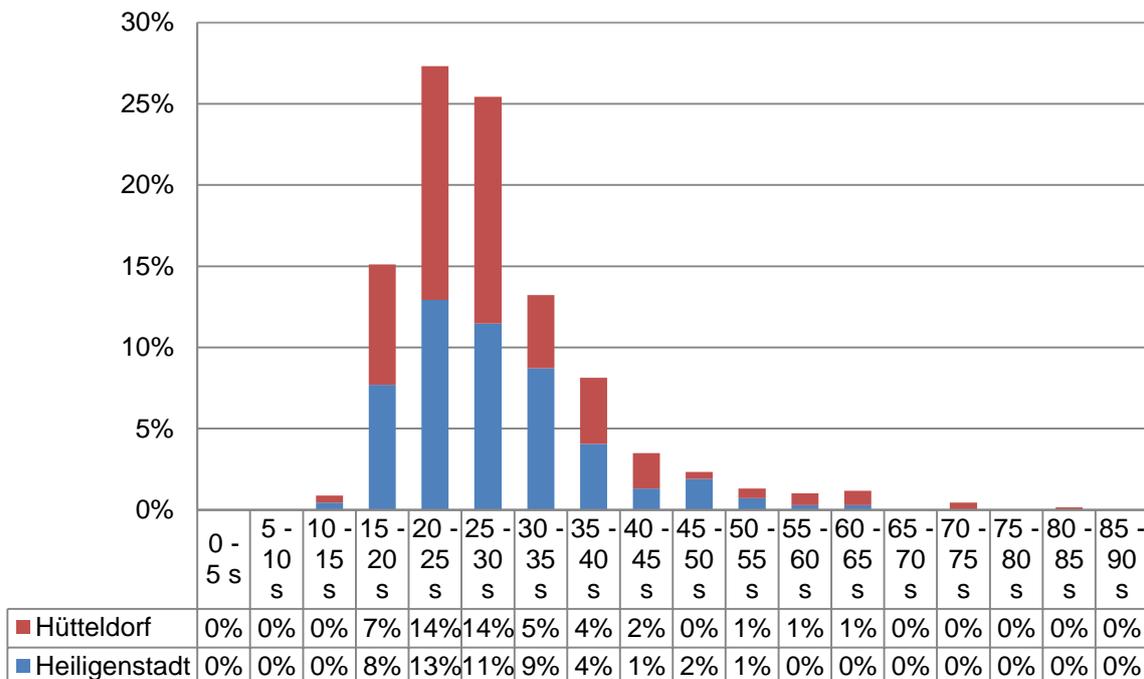
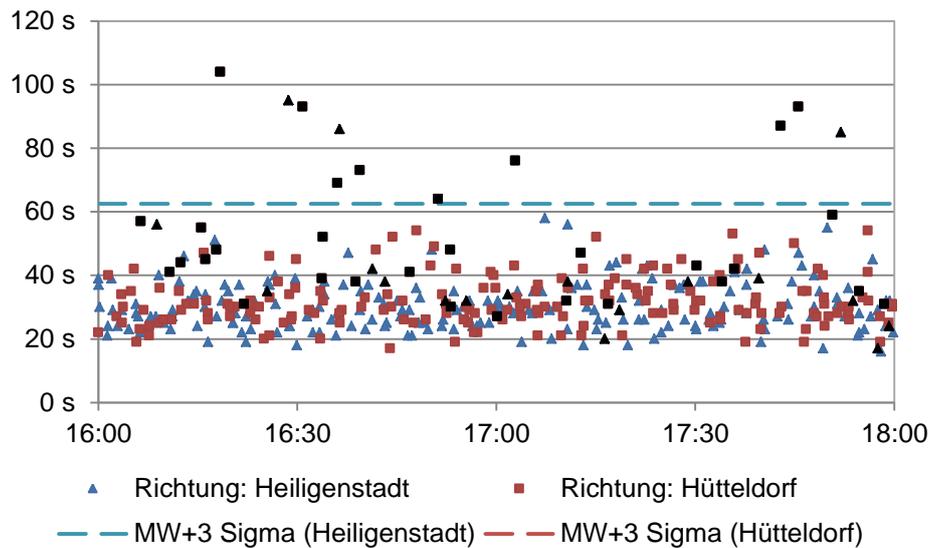
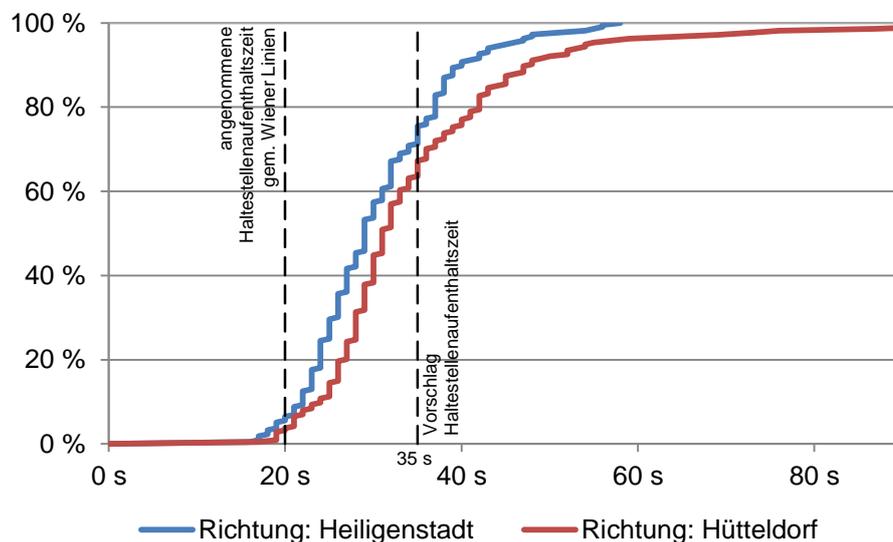


Diagramm 2.28: Gesamt Morgenspitze – Häufigkeitsverteilung

Abendspitze**Diagramm 2.29: Gesamt Abendspitze – absolute Verteilung**

Analog zur Darstellung bei der Morgenspitze, sind auch hier bei der Darstellung der Abendspitze alle Ausreißer in Diagramm 2.29 enthalten (siehe dazu Tabelle 2.8). Um die Übersichtlichkeit des Diagramms zu gewährleisten wurde auch hier – im Gegensatz zu den Betrachtungen der einzelnen Haltestellen – keine zusätzliche Markierung eingefügt.

**Diagramm 2.30: Gesamt Abendspitze – relative Verteilung**

Um über 60% der Halte mittels der festgelegten Haltestellenaufenthaltszeit abzufertigen, sowie unter Berücksichtigung des Steigungswechsels der Kurve Richtung Heiligenstadt von 62° zu 78° bei Sekunde 35 wird vorgeschlagen, die feste Haltestellenaufenthaltszeit bei 35 Sekunden festzulegen.

**VORSCHLAG: 35 SEKUNDEN**

Auch für die Abendspitze wurden zwei Tabellen mit den statistischen Werten Minimum, Maximum, arithmetisches Mittel, Median und 75%-Quantil erstellt. Tabelle 2.12 stellt die Werte der Fahrtrichtung Heiligenstadt dar, während Tabelle 2.13 der Darstellung der Werte der Fahrtrichtung Hütteldorf dient. Ein Vergleich der beiden Tabellen zeigt, dass auch hier die durchschnittlichen Haltestellenaufenthaltszeiten in der Station Schottenring wesentlich voneinander abweichen. Die Differenz der Mediane beträgt dabei elf Sekunden, wohingegen in den anderen Stationen lediglich Unterschiede zwischen einer und drei Sekunden zu verzeichnen sind. Vergleicht man die beiden Mediane gesamt, so ist eine Differenz in Höhe von zwei Sekunden gegeben.

Tabelle 2.12: Abendspitze, Fahrtrichtung Heiligenstadt – statistische Werte (alle Werte in Sekunden)

Haltestelle	Min	Max	Arithm. Mittel	50%-Quantil (Median)	75%-Quantil
Hietzing	16	48	27	25	32
Karlsplatz	23	47	32	31	37
Längenfeldgasse	17	56	31	29	35
Schottenring	17	43	26	25	29
Schwedenplatz	19	58	36	36	42
Wien Mitte / Landstraße	21	43	30	29	33
<b>GESAMT</b>	<b>16</b>	<b>58</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>35</b>

Tabelle 2.13: Abendspitze, Fahrtrichtung Hütteldorf – statistische Werte (alle Werte in Sekunden)

Haltestelle	Min	Max	Arithm. Mittel	50%-Quantil (Median)	75%-Quantil
Hietzing	19	53	30	28	31
Karlsplatz	20	54	32	30	38
Längenfeldgasse	22	73	36	31	42
Schottenring	19	76	39	36	45
Schwedenplatz	17	52	35	35	42
Wien Mitte / Landstraße	19	46	31	31	34
<b>GESAMT</b>	<b>17</b>	<b>104</b>	<b>35</b>	<b>31</b>	<b>39</b>

Ermittelt man die statistischen Werte gesamt und zwar unabhängig von der Fahrtrichtung, so ergeben sich Werte gemäß Tabelle 2.14, wobei der Median sich in der Mitte der beiden zuvor behandelten Mediane gesamt befindet.

Tabelle 2.14: Gesamt Abendspitze, beide Fahrtrichtungen – statistische Werte (alle Werte in Sekunden)

Min	Max	Arithm. Mittel	50%-Quantil (Median)	75%-Quantil
16	104	33	30	37

Zur grafischen Darstellung der durchschnittlichen Haltestellenaufenthaltszeiten dient die folgende Normalverteilung.

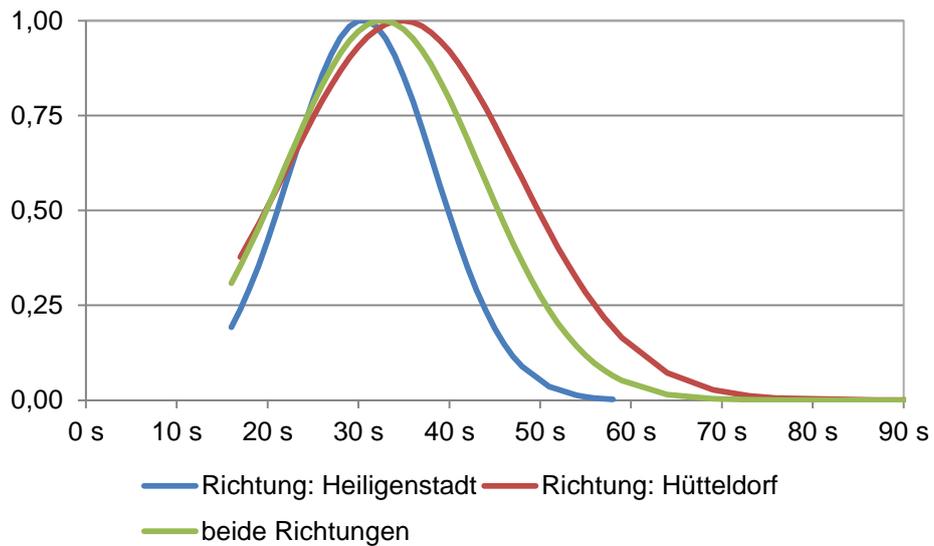


Diagramm 2.31: Gesamt Abendspitze – Normalverteilung

Diagramm 2.32 verdeutlicht, dass sowohl für die Fahrtrichtung Heiligenstadt als auch für die Fahrtrichtung Hütteldorf die Haltestellenaufenthaltszeiten am häufigsten im Bereich zwischen 25 und 30 Sekunden liegen.

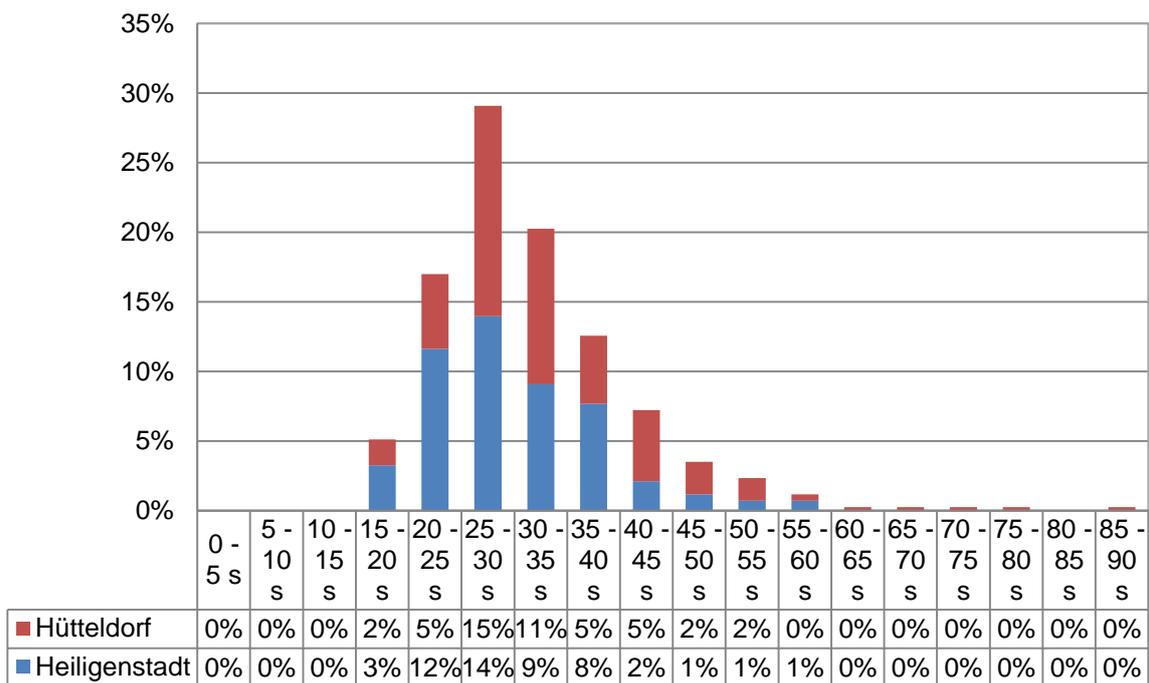


Diagramm 2.32: Gesamt Abendspitze – Häufigkeitsverteilung

## 2.4 Phase 2 – Datenauswertung und Interpretation

Als Referenzwert für die Auswertung wurde der jeweilige Median herangezogen. Die Haltestellen, welche in Phase 2 keiner detaillierteren Erhebung unterzogen wurden, werden bei den Auswertungen nicht berücksichtigt, weil als Modell angenommen wird, dass die festgelegten Haltestellenaufenthaltszeiten dem jeweiligen Median entspricht.

Für die beiden Szenarien werden die entsprechenden Daten in Tabellen zusammengefasst. Dabei wird die Variable  $t_{50\%}$  für den 50%-Quantil (Median),  $t_{\text{fest}}$  für die vorgeschlagene feste Haltestellenaufenthaltszeit verwendet. Die Variable  $t_{x\%}$  beschreibt den Quantilswert der jeweiligen festgelegten Haltestellenaufenthaltszeit ( $t_{\text{fest}}$ ).

### 2.4.1 Datenauswertung und Interpretation Morgen- bzw. Abendspitze je Haltestelle (Szenario 1)

Als fixe Haltestellenaufenthaltszeit je Haltestelle werden im Szenario 1 die mittels den Diagrammen „relative Verteilung“ (siehe z.B. Diagramm 2.24 udgl.) vorgeschlagenen festen Haltestellenaufenthaltszeiten angesetzt. Je Haltestelle wurden jeweils zwei Haltestellenaufenthaltszeiten festgelegt, eine für die Morgenspitze und eine für die Abendspitze. Die fixe Haltestellenaufenthaltszeit wurde dabei für beide Fahrrichtungen einheitlich festgelegt.

#### Morgenspitze

Werden fixe Haltestellenaufenthaltszeiten gemäß den Vorschlägen angesetzt, so ist bei 50% der Fahrten in Richtung Heiligenstadt eine Fahrzeitverlängerung von insgesamt 31 Sekunden, in Fahrrichtung Hütteldorf von 35 Sekunden, auf Grund von Überschreitung der fixierten Haltestellenaufenthaltszeiten zu erwarten. Angenommen wird, dass der Zug die jeweils festgelegte Haltestellenaufenthaltszeit entweder in der Station verbringt, oder die nicht benötigten Sekunden in eine energiesparende Fahrweise investiert.

In Richtung Hütteldorf liegt das größte Potential in der Station Karlsplatz. Wird dort die Haltestellenaufenthaltszeit mit 33 Sekunden festgelegt, so können bei 95% der Fahrten die nicht benötigten Sekunden für eine energiesparende Fahrweise verwendet werden. Das geringste Potential hingegen liegt in der Station Schottenring ebenso in Fahrrichtung Hütteldorf. Hier können mit der vorgeschlagenen Haltestellenaufenthaltszeit von 28 Sekunden lediglich bei 46% der Halte die nicht benötigten Sekunden verwendet werden.

Tabelle 2.15: Auswertung Morgenspitze je Haltestelle (Werte in Sekunden)

Haltestelle	Fahrtrichtung	$t_{50\%}$	$t_{fest}^*$	$t_{fest}-t_{50\%}$	$t_x\%$
Hietzing	Heiligenstadt	25	30	6	70%
Karlsplatz	Heiligenstadt	27	33	6	79%
Längenfeldgasse	Heiligenstadt	31	35	4	61%
Schottenring	Heiligenstadt	24	28	4	73%
Schwedenplatz	Heiligenstadt	29	32	3	61%
Wien Mitte / Landstraße	Heiligenstadt	27	35	8	92%
<b>GESAMT</b>	<b>Heiligenstadt</b>	<b>27</b>	<b>s.o.</b>	<b>31</b>	<b>s.o.</b>

Haltestelle	Fahrtrichtung	$t_{50\%}$	$t_{fest}^*$	$t_{fest}-t_{50\%}$	$t_x\%$
Hietzing	Hütteldorf	24	30	6	89%
Karlsplatz	Hütteldorf	25	33	9	95%
Längenfeldgasse	Hütteldorf	26	35	9	86%
Schottenring	Hütteldorf	30	28	0 (-2**)	46%
Schwedenplatz	Hütteldorf	28	32	4	68%
Wien Mitte / Landstraße	Hütteldorf	28	35	7	82%
<b>GESAMT</b>	<b>Hütteldorf</b>	<b>27</b>	<b>s.o.</b>	<b>35</b>	<b>s.o.</b>

\*gem. Vorschlag

\*\*negative Differenz (in der jeweiligen Haltestelle verbleiben bei über 50% der Fahrten keine Sekunden welche für die energiesparende Fahrweise angewendet werden können)

### Abendspitze

Bei einer Festlegung der Haltestellenaufenthaltszeiten gemäß  $t_{fest}$  aus Tabelle 2.16 ist bei 50% der Fahrten in Richtung Heiligenstadt mit einer Fahrzeitverlängerung von 27 Sekunden zu rechnen, in Fahrtrichtung Hütteldorf von insgesamt 18 Sekunden. Vorausgesetzt wird, dass der Zug entweder die jeweils festgelegte Zeit in der Haltestelle verbringt oder die nicht benötigten Sekunden für eine energiesparende Fahrweise einsetzt.

Durch Unterschreitung der festgelegten Haltestellenaufenthaltszeit bei 83% der Halte ist in Fahrtrichtung Hütteldorf bei der Station Wien Mitte / Landstraße das größte Potential vorhanden. Hingegen bei der Station Schottenring (ebenfalls in Fahrtrichtung Hütteldorf) ergeben sich lediglich bei 24% der Fahrten nicht benötigte Sekunden, welche für eine energiesparende Fahrweise verwendet werden können.

Tabelle 2.16: Auswertung Abendspitze je Haltestelle (Werte in Sekunden)

Haltestelle	Fahrtrichtung	t <sub>50%</sub>	t <sub>fest</sub> *	t <sub>fest</sub> -t <sub>50%</sub>	t <sub>x%</sub>
Hietzing	Heiligenstadt	25	32	7	71%
Karlsplatz	Heiligenstadt	31	37	6	71%
Längenfeldgasse	Heiligenstadt	29	33	4	69%
Schottenring	Heiligenstadt	25	29	4	72%
Schwedenplatz	Heiligenstadt	36	35	0 (-1**)	46%
Wien Mitte / Landstraße	Heiligenstadt	29	35	6	79%
<b>GESAMT</b>	<b>Heiligenstadt</b>	<b>29</b>	<b>s.o.</b>	<b>27</b>	<b>s.o.</b>

Haltestelle	Fahrtrichtung	t <sub>50%</sub>	t <sub>fest</sub> *	t <sub>fest</sub> -t <sub>50%</sub>	t <sub>x%</sub>
Hietzing	Hütteldorf	28	32	4	79%
Karlsplatz	Hütteldorf	30	37	7	75%
Längenfeldgasse	Hütteldorf	31	33	2	59%
Schottenring	Hütteldorf	36	29	0 (-7**)	24%
Schwedenplatz	Hütteldorf	35	35	0	43%
Wien Mitte / Landstraße	Hütteldorf	31	35	5	83%
<b>GESAMT</b>	<b>Hütteldorf</b>	<b>31</b>	<b>s.o.</b>	<b>18</b>	<b>s.o.</b>

\*gem. Vorschlag

\*\*negative Differenz (in der jeweiligen Haltestelle verbleiben bei über 50% der Fahrten keine Sekunden welche für die energiesparende Fahrweise angewendet werden können)

## 2.4.2 Datenauswertung und Interpretation Gesamtwerte Morgen- bzw. Abendspitze (Szenario 2)

Im Szenario 2 werden als fixe Haltestellenaufenthaltszeit die in den Diagrammen „relative Verteilung“ (siehe Diagramm 2.26 und Diagramm 2.30 udgl.) vorgeschlagenen angesetzt. Es wurden zwei Haltestellenaufenthaltszeiten festgelegt, eine für die Morgenspitze und eine für die Abendspitze. Die Haltestellenaufenthaltszeit wurde dabei für beide Fahrtrichtungen und für alle in Phase 2 detailliert behandelten Haltestellen gemeinsam festgelegt.

### Morgenspitze

Wird für die gesamte Morgenspitze eine Haltestellenaufenthaltszeit von 33 Sekunden festgelegt, so werden 50% der Fahrten eine Fahrzeitverlängerung von 6 Sekunden aufweisen. Der Zug hat dabei bis zum Ende der 33 Sekunden in der Haltestelle zu verharren oder die nicht benötigten Sekunden für eine energiesparende Fahrweise zu verwenden.

In Fahrtrichtung Hütteldorf kann bei 78% der Halte, in Fahrtrichtung Heiligenstadt bei 73%, eine energiesparende Fahrweise ausgeführt werden.

Tabelle 2.17: Auswertung Morgenspitze alle Haltestellen (Werte in Sekunden)

<b>Fahrtrichtung</b>	<b>t<sub>50%</sub></b>	<b>t<sub>fest</sub>*</b>	<b>t<sub>fest</sub>-t<sub>50%</sub></b>	<b>t<sub>x%</sub></b>
Heiligenstadt	27	33	6	73%
Hütteldorf	27	33	6	78%

\*gem. Vorschlag

Abendspitze

Bei Festlegung einer Haltestellenaufenthaltszeit von 35 Sekunden ist bei 50% der Fahrten in Fahrtrichtung Heiligenstadt mit einer Fahrzeitverlängerung von 6 Sekunden bzw. in Fahrtrichtung Hütteldorf von 4 Sekunden zu rechnen. Dies gilt insoweit die gesamte festgelegte Haltestellenaufenthaltszeit in der Haltestelle verbraucht wird bzw. die nicht benötigten Sekunden in eine energiesparende Fahrweise investiert werden.

Eine energiesparende Fahrweise kann in Fahrtrichtung Hütteldorf bei 63% der Fahrten, in Fahrtrichtung Heiligenstadt bei 71% der Fahrten realisiert werden.

Tabelle 2.18: Auswertung Abendspitze alle Haltestellen (Werte in Sekunden)

<b>Fahrtrichtung</b>	<b>t<sub>50%</sub></b>	<b>t<sub>fest</sub>*</b>	<b>t<sub>fest</sub>-t<sub>50%</sub></b>	<b>t<sub>x%</sub></b>
Heiligenstadt	29	35	6	71%
Hütteldorf	31	35	4	63%

\*gem. Vorschlag

## 2.5 Phase 1 und 2 – Datendarstellung, Datenauswertung und Interpretation

In diesem Kapitel werden alle in Phase 1 und 2 erhobenen Daten gemeinsam betrachtet. Als erstes werden die gesammelten Daten grafisch dargestellt und anschließend ausgewertet und interpretiert.

### 2.5.1 Datendarstellung Gesamtwerte Tagesverlauf (Szenario 3)

Die Durchführung der Erhebungen in Phase 1 und 2 führten zu einem Gesamtdatenumfang von insgesamt 1.382 gemessenen Haltestellenaufenthaltszeiten. In Tabelle 2.19 sind diese nach Phase bzw. Haltestelle aufgeschlüsselt.

Tabelle 2.19: Datenumfang Erhebungen – Phase 1 und 2

<b>Haltestelle</b>	<b>Anzahl der erhobenen Haltestellenaufenthaltszeiten</b>
Hietzing	189
Karlsplatz	192
Längenfeldgasse	191
Schottenring	183
Schwedenplatz	192
Wien Mitte / Landstraße	188
<b>SUMME Phase 2</b>	<b>1.135</b>
Phase 1	247
<b>SUMME Phase 1+2</b>	<b>1.382</b>

Tabelle 2.20: Gesamter Tagesverlauf Details Datenerhebung und Datenpunkte

	<b>Morgenspitze</b>	<b>zwischen Morgen- und Abendspitze</b>	<b>Abendspitze</b>	<b>SUMME</b>
<b>Anzahl Haltestellenaufenthaltszeiten</b>				
Heiligenstadt	351	121	219	691
Hütteldorf	349	126	216	691
<b>SUMME</b>	<b>700</b>	<b>247</b>	<b>435</b>	<b>1.382</b>
<b>Anzahl betriebsbedingter längerer Stehzeiten</b>				
Heiligenstadt	37	3	18	58
Hütteldorf	38	7	34	79
<b>SUMME</b>	<b>75</b>	<b>10</b>	<b>52</b>	<b>137</b>
<b>Ausreißer</b>				
Heiligenstadt	Schottenring: 64 s (08:05:44)* 94 s (08:33:29)* Karlsplatz: 92 s (06:32:38)* Längenfeldgasse: 92 s (06:33:37)* 72 s (07:22:13)* 90 s (08:07:23)* 69 s (08:18:47)* 67 s (08:26:04)* 68 s (08:39:50)*	Wien Mitte / Landstraße: 79 s (12:41:22)*	Schwedenplatz: 85 s (17:51:54)* Karlsplatz: 95 s (16:28:39)* Längenfeldgasse: 86 s (16:36:21)*	
Hütteldorf	Schwedenplatz: 144 s (08:51:12)* Schottenring: 146 s (07:31:19)* Schottenring: 235 s (08:16:26)* Karlsplatz: 151 s (08:27:17)*		Schwedenplatz: - 104 s (16:18:21)* Hietzing: 376 s (17:39:02)* Karlsplatz: 198 s (16:37:02)*	

\*betriebsbedingte längere Stehzeit

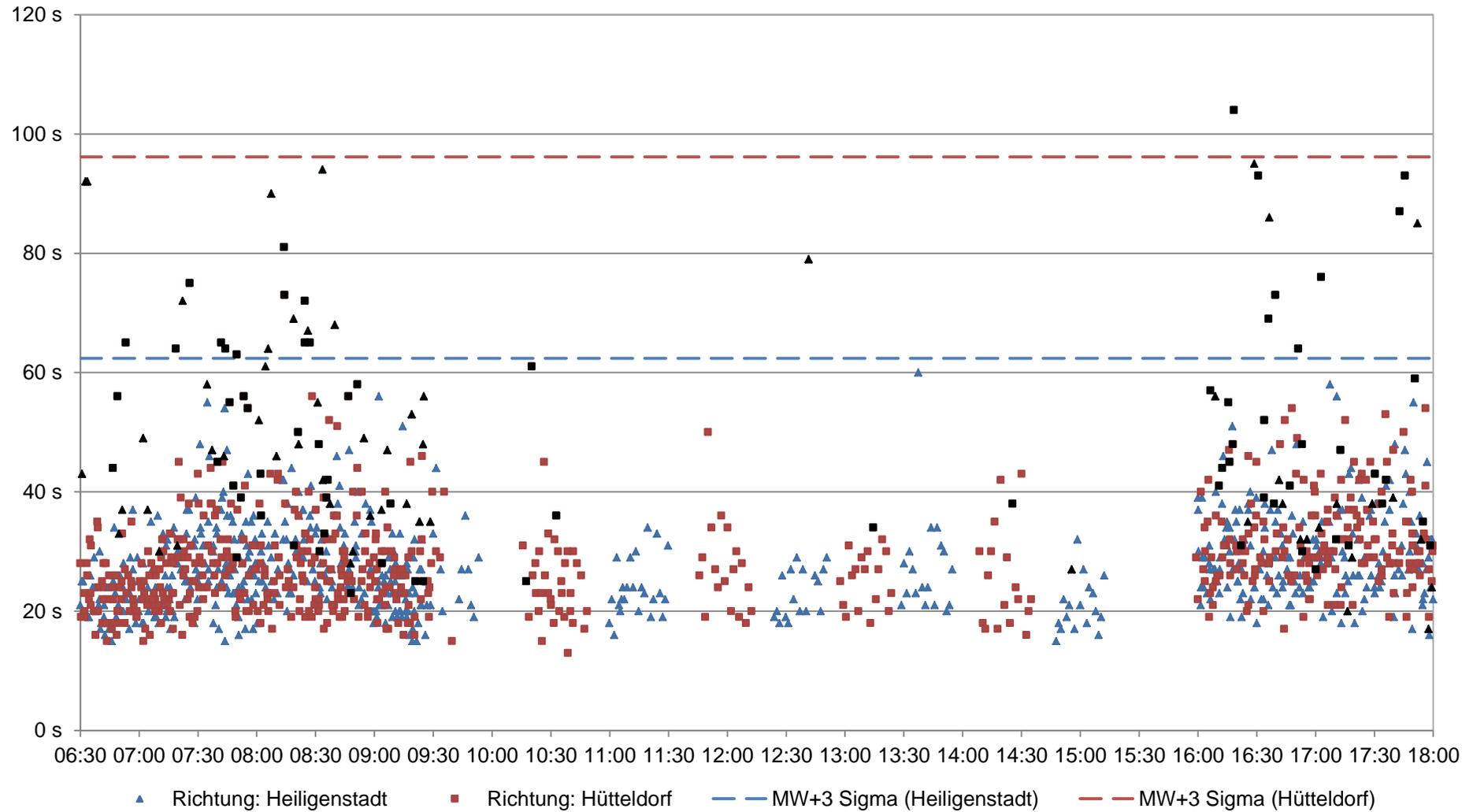
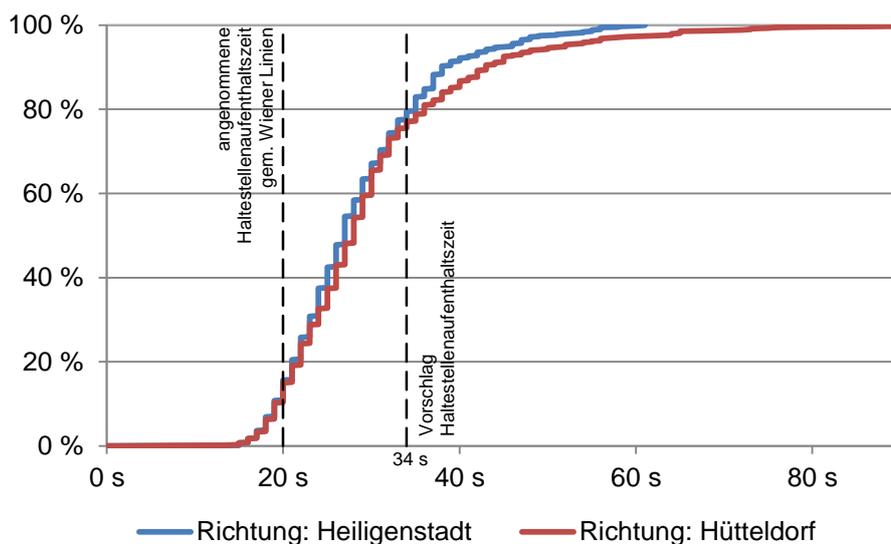


Diagramm 2.33: Gesamt Tagesverlauf – absolute Verteilung

Im Diagramm 2.33 stellen die in den Zeiten 06:30 bis 09:30 bzw. 16:00 bis 18:00 dargestellten Datenpunkte die gesammelten Daten der Phase 2 dar. Die Werte von 09:30 bis 16:00 resultieren aus den in Phase 1 erhobenen Fahrten. Diagramm 2.29 enthält Ausreißer (siehe dazu Tabelle 2.8). Um die Übersichtlichkeit des Diagramms zu gewährleisten wurde – im Gegensatz zu den Betrachtungen der einzelnen Haltestellen – keine zusätzliche Markierung eingefügt.

Diagramm 2.33 veranschaulicht, dass die durchschnittlichen Haltestellenaufenthaltszeiten der Morgen- und Abendspitze sich lediglich um ein paar Sekunden unterscheiden. Vergleicht man die Medianwerte (siehe Tabelle 2.11 und Tabelle 2.14) der Morgenspitze (Median beide Fahrtrichtungen = 27 s) und Abendspitze (Median beide Fahrtrichtungen = 30 s), so weisen diese lediglich eine Differenz von drei Sekunden auf. Trotz der geringen Datenmenge außerhalb der Morgen- und Abendspitze kann auf Grund der geringfügigen Unterschiede der beiden Spitzenzeiten zueinander davon ausgegangen werden, dass auch außerhalb der Spitzenzeiten die Haltestellenaufenthaltszeiten sich nicht wesentlich anders verhalten werden. Die in Phase 1 getätigten Fahrten plausibilisieren diese Aussage.



**Diagramm 2.34: Gesamt Tagesverlauf – relative Verteilung**

Bei Sekunde 34 wird bei der Kurve Richtung Hütteldorf zum ersten Mal die Steigung von  $70^\circ$  unterschritten, bei der Kurve Richtung Heiligenstadt bei Sekunde 35. Da mittels Festlegung von 34 Sekunden etwa 75% der Halte abgefertigt werden können, wird eine feste Haltestellenaufenthaltszeit von 34 Sekunden vorgeschlagen.

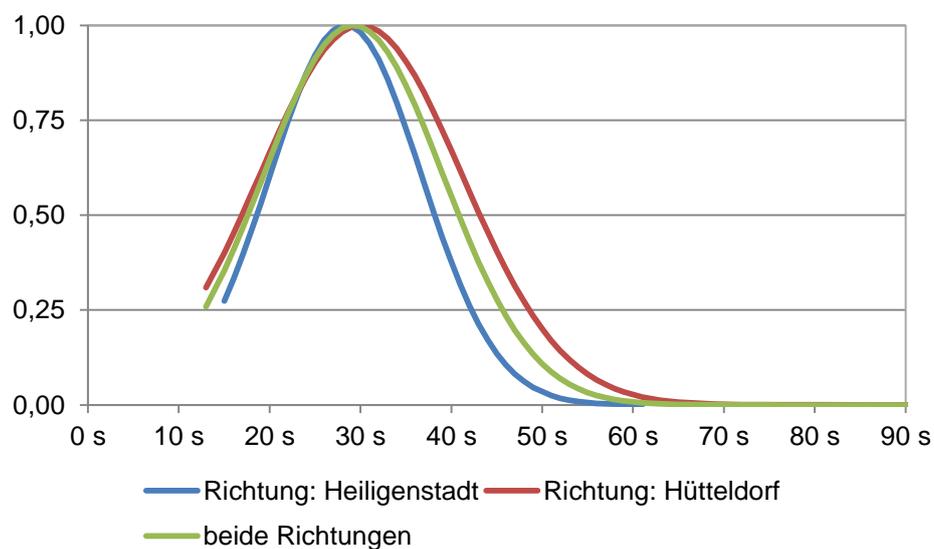
**VORSCHLAG: 34 SEKUNDEN**

Berücksichtigt man alle in den Phasen 1 und 2 erhobenen Werte, so ergeben sich statistische Werte gemäß Tabelle 2.21.

**Tabelle 2.21: Gesamt Tagesverlauf – statistische Werte (alle Werte in Sekunden)**

<b>Fahrtrichtung</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Arithm. Mittel</b>	<b>50%-Quantil (Median)</b>	<b>75%-Quantil</b>
Heiligenstadt	15	61	28	27	33
Hütteldorf	13	93	30	28	33
beide Richtungen	13	93	29	27	33

Zur grafischen Darstellung der durchschnittlichen Haltestellenaufenthaltszeiten wurde folgende Normalverteilung erstellt (siehe Diagramm 2.35).



**Diagramm 2.35: Gesamt Tagesverlauf – Normalverteilung**

Nachfolgende Häufigkeitsverteilung lässt erkennen, dass bei Betrachtung aller erhobenen Daten die häufigsten Haltestellenaufenthaltszeiten in Fahrtrichtung Hütteldorf im Bereich zwischen 25 und 30 Sekunden liegen, jene in Fahrtrichtung Heiligenstadt im Bereich zwischen 20 und 25 Sekunden. Weiters ist ersichtlich, dass unabhängig von der Fahrtrichtung der Bereich zwischen 20 und 25 Sekunden insgesamt am häufigsten auftritt.

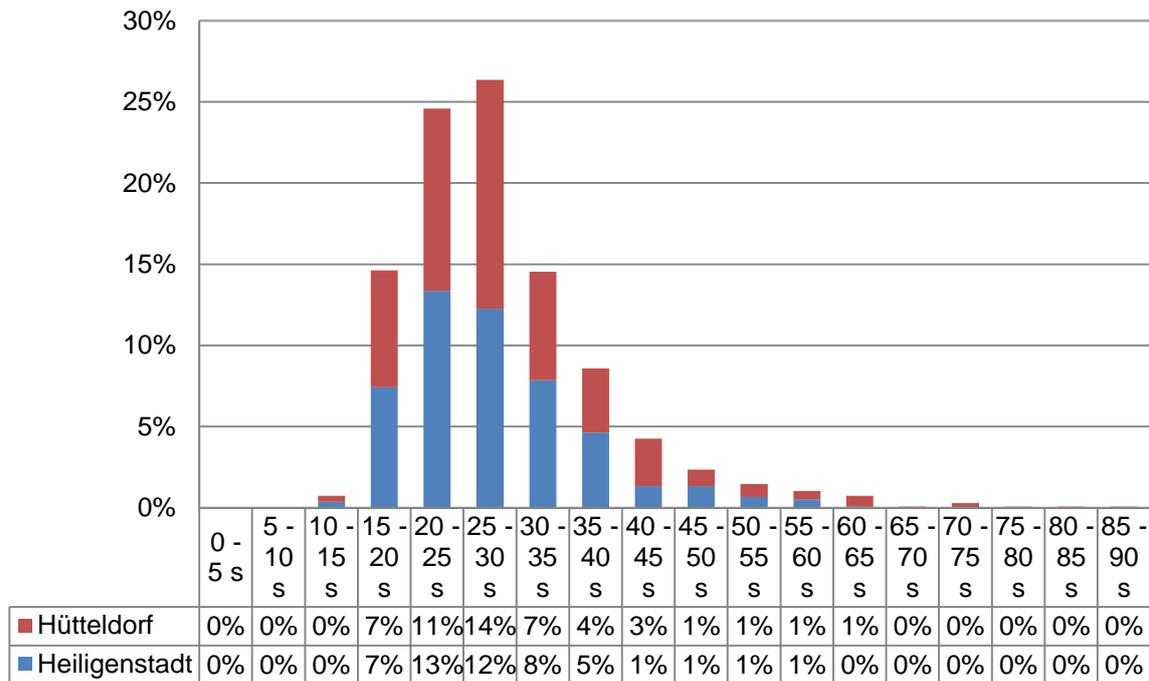


Diagramm 2.36: Gesamt Tagesverlauf – Häufigkeitsverteilung

## 2.5.2 Datenauswertung und Interpretation Gesamtwerte Tagesverlauf (Szenario 3)

Bei Betrachtung des Betriebs über den gesamten Tag können nur bedingt Aussagen getroffen werden, da im Bereich vor, zwischen und nach der Morgen- bzw. Abendspitze der Datenumfang relativ gering bzw. gar nicht vorhanden ist. Bei nachfolgender Auswertung werden alle erhobenen Daten der Phase 1 und 2 berücksichtigt.

Als feste Haltestellenaufenthaltszeit über den gesamten Tag werden 34 Sekunden vorgeschlagen. Dabei können in Fahrtrichtung Heiligenstadt 78%, in Fahrtrichtung Hütteldorf 76% der Fahrten eine energiesparende Fahrweise realisieren. Unter Berücksichtigung einer Haltestellenaufenthaltszeit von 34 Sekunden ist bei 50% der Fahrten in Fahrtrichtung Heiligenstadt eine Fahrzeitverlängerung von lediglich 7 Sekunden bzw. in Fahrtrichtung Hütteldorf von 6 Sekunden zu erwarten. Auch hier gilt die Annahme, dass entweder die festgelegte Zeit in der Haltestelle verbracht wird oder die nicht benötigten Sekunden in eine energiesparende Fahrweise investiert werden.

Tabelle 2.22: Auswertung gesamter Tagesverlauf (Werte in Sekunden)

Fahrtrichtung	$t_{50\%}$	$t_{fest}^*$	$t_{fest}-t_{50\%}$	$t_{x\%}$
Heiligenstadt	27	34	7	78%
Hütteldorf	28	34	6	76%

\*gem. Vorschlag

Die in Tabelle 2.22 verwendeten Variablen stehen für folgende Werte:  $t_{50\%}$  für den 50%-Quantil (Median),  $t_{fest}$  für die vorgeschlagene feste Haltestellenaufenthaltszeit,  $t_{x\%}$  beschreibt den Quantilwert der festgelegten Haltestellenaufenthaltszeit ( $t_{fest}$ ).

### 2.5.3 Datendarstellung Fahrzeugtyp

In Diagramm 2.37 werden die Haltestellenaufenthaltszeiten getrennt nach den bei der U4 Linie verwendeten Fahrzeugtypen „Silberfeil“ und „V-Wagen“ dargestellt.

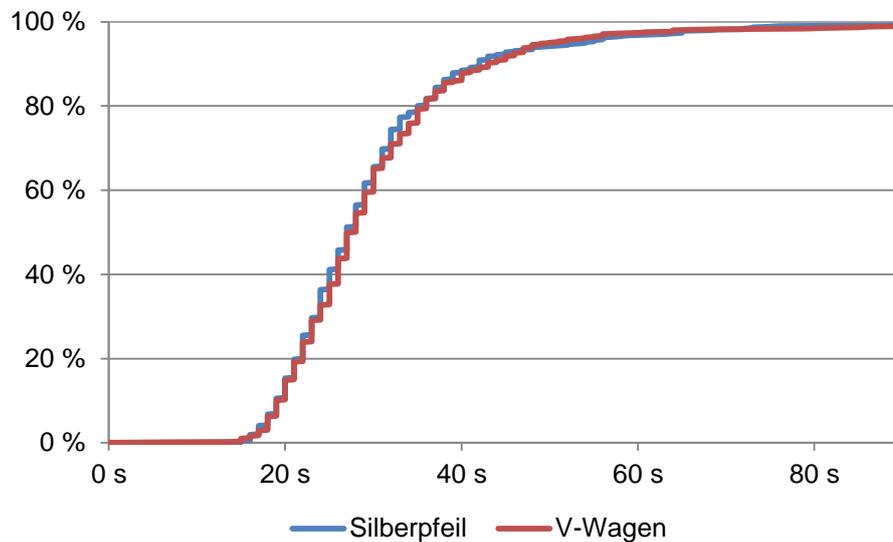


Diagramm 2.37: Gesamt Fahrzeugtyp – relative Verteilung

Die in diesem Kapitel aufgezeigten Erhebungsdaten und deren Auswertungen, insbesondere die Vorschläge für die festen Haltestellenaufenthaltszeiten im Hinblick auf eine mögliche Erhöhung der Anwendung einer energiesparenden Fahrweise, dienen als Grundlage für das nun folgende Kapitel „Fazit“.

### 3 Fazit und mögliche weitere Vorgehensweise

Die detailliertere Analyse der Morgen- und Abendspitze veranschaulicht, dass es bei Anwendung von unterschiedlichen Haltestellenaufenthaltszeiten zur Realisierung einer energiesparenden Fahrweise um ein „*Spiel mit den Sekunden*“ [16] handelt.

Eine Festlegung von unterschiedlichen pauschalen Haltestellenaufenthaltszeiten in unterschiedlichen Zeitabschnitten des Tages ist auf Grund der hohen Sensitivität der Werte als sinnvoll zu erachten.

Nachfolgend wird für die Wiener U-Bahn ein Vorschlag zur Realisierung gegeben, wobei mögliche Auswirkungen wie zum Beispiel eventuell zusätzlich notwendige Fahrer und Fahrzeuge nicht berücksichtigt werden. Der hier unterbreitete Vorschlag konzentriert sich ausschließlich auf die Erhöhung der Möglichkeit zur Realisierung einer energiesparenden Fahrweise.

Unter Berücksichtigung des derzeitigen Systems der Wiener U-Bahn und um die Implementierung möglichst einfach durchführen zu können, wird vorgeschlagen, im **ersten Schritt** die Haltestellenaufenthaltszeit von derzeit 20 auf 34 Sekunden zu erhöhen. Dies hat zur Folge, dass eine energiesparende Fahrweise bei 76% der Fahrten realisiert werden kann. Eine Erhöhung der Haltestellenaufenthaltszeit um 14 Sekunden bewirkt, dass 65% mehr Fahrten eine energiesparende Fahrweise durchführen können. Die derzeitige Fahrzeitberechnung würde allerdings eine Fahrzeitverlängerung von 4:12 min erfahren.

Als **zweiter Schritt** könnten weitere Haltestellen detailliert untersucht (vgl. Phase 2) und somit der Datenumfang erhöht werden.

Außerdem wird vorgeschlagen in einem **dritten Schritt** die ermittelten festgelegten Haltestellenaufenthaltszeiten je Haltestelle bei der Morgen- und Abendspitze zu implementieren. Im Vergleich mit Morgen- bzw. Abendspitze ist es als sinnvoll zu erachten in den Schwachlastzeiten geringfügig abgeminderte Haltestellenaufenthaltszeiten anzuwenden, sodass zu diesen Zeiten das große Potential für eine energiesparende Fahrweise genutzt werden kann.

Setzt man diese vorgeschlagene Vorgehensweise in Bezug zu zwei Zielen der Rahmenstrategie Smart City Wien – „Senkung des Energieverbrauchs“ und „Senkung des MIV-Anteils“ – ist anzumerken, dass die Erhöhung der Haltestellenaufenthaltszeit zwar den Energieverbrauch senkt, jedoch davon ausgegangen werden kann, dass auf Grund der dadurch verursachten Fahrzeitverlängerung sich der Modal Split zumindest geringfügig in Richtung MIV verlagert und somit das Ziel den MIV-Anteil zu senken negativ beeinflusst wird. Ein Umstieg vom ÖPNV auf den MIV zieht jedenfalls auch eine Erhöhung der notwendigen Energie je Personenkilometer nach sich. Derartige kausalen Zusammenhänge und Rückkoppelungen sind gemäß der Rahmenstrategie Smart City Wien mittels einer gesamtheitlichen Betrachtung zu berücksichtigen. Die in dieser Arbeit erlangten Ergebnisse sind somit im Zusammenhang mit dem Gesamtsystem zu betrachten. [2]

## IV ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Um eine energiesparende Fahrweise ohne wesentliche erforderliche Fahrplanänderung einzuführen, sind die im Fahrplan enthaltenen **Zeitreserven** zu nutzen, diese sind:

- Fahrzeitreserven
  - Regelzuschlag
  - (Bauzuschlag)
- Haltezeitreserven
  - Übergangspufferzeit
  - HALTEZEITSCHWANKUNGEN
- Zugfolgepufferzeiten

Die in dieser Arbeit schwerpunktmäßig behandelten Haltezeitschwankungen können zur Senkung des Energieverbrauchs verwendet werden. Dabei wird die nicht benötigte Haltezeit in eine Verlängerung der Fahrzeit umgesetzt und dadurch eine energiesparende Fahrweise ermöglicht.

Haltezeitschwankungen und daraus resultierende Haltezeitreserven sind nur bei einem nicht vollautomatischen Betrieb vollständig ausnutzbar, da bei solchen Betriebssystemen in der Regel eine feste Haltezeit vorgegeben und einzuhalten ist und somit die nicht benötigten Sekunden nicht für eine energiesparende Fahrweise herangezogen werden können. Eine unmittelbare Reaktion auf kürzere Fahrgastwechselzeiten ist lediglich mit Hilfe von Personal, welches den Abfertigungsvorgang durchführt, möglich.

Bei der Untersuchung von vier möglichen **energiesparenden Fahrweisen** wurde festgestellt, dass je nach vorhandenen Randbedingungen die Anwendung von Fahrweise 3 (Fahrweise mittels reduzierter Höchstgeschwindigkeit, Beschleunigung mit maximaler Zugkraft, Vorhandensein einer Ausrollphase) oder Fahrweise 4 (im Gegensatz zu Fahrweise 3 Beschleunigung auf die maximale Höchstgeschwindigkeit) als sinnvoll erachtet wird.

Die Haltestellenaufenthaltszeiten bestehen aus Verkehrs-/Betriebshaltezeit und Abfertigungszeit. Die Verkehrshaltezeit umfasst wiederum Türöffnungszeit und Fahrgastwechselzeit, die Abfertigungszeit hingegen Türschließzeit, Prüf- und Fertigmeldezeit sowie Reaktionszeit. Im Gegensatz zur Verkehrshaltezeit ist bei der Betriebshaltezeit anstatt der Fahrgastwechselzeit jene Zeit vorhanden, welche für die Ausführung des betrieblichen Grundes notwendig ist.

**Einflussfaktoren der Haltestellenaufenthaltszeit**

Tabelle 3.1: Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeit

<b>Fahrgast</b>	<b>Fahrzeug</b>	<b>Haltestelle</b>	<b>Betrieblicher Art</b>
<b>Anzahl Einsteiger / Aussteiger</b> <b>Besetzungsgrad Fahrzeug</b> <b>Fahrgastzusammensetzung</b>	<b>Türbewegungszeit</b> <b>Türanordnung und Türanzahl</b> <b>Einstiegsbereich</b> (Türleistungsfähigkeit, Türbreite, Größe des vertikalen / horizontalen Spalts zwischen Bahnsteig und Fahrzeug, Stufenausbildung, Auffangräume) <b>Innenraumgestaltung</b> (Ausstattung, Türwahl Aussteigende, Fahrgastfluss im Fahrzeug)	<b>Größe des vertikalen Spalts zwischen Bahnsteig und Fahrzeug</b> <b>Haltestellenausbildung</b> (Zugangsverhältnisse, Haltestellenausstattung, Platzverhältnisse)	<b>Verkehrsfunktion der Linie</b> <b>Fahrtticketsystem</b> <b>Abfertigungssystem</b> <b>Synchronisationszeiten</b> <b>Betriebsstörungen</b>

Somit sind vielfältige **Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeit** vorhanden, die wichtigsten davon (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) werden in Tabelle 3.1 dargestellt. Die maßgebenden Einflussfaktoren im Hinblick auf die tagesabhängigen Schwankungen der Haltestellenaufenthaltszeit sind jene im Bereich des Fahrgastes sowie der Einflussfaktor Synchronisationszeiten im Bereich betrieblicher Art.

Ein großer Teil der vorliegenden Arbeit ist der empirischen Untersuchung der Haltestellenaufenthaltszeitschwankungen gewidmet. In **Phase 1** dieser Untersuchung wurden jene Stationen mit der maßgeblichen Fahrgastwechselzeit ermittelt. Die folgende Auflistung reiht (unter Berücksichtigung aufgetretener Ausreißer) diese Haltestellen nach ihrer maximal ermittelten Haltestellenaufenthaltszeit:

1	Längenfeldgasse	60 s
2	Schottenring	50 s
3	Schwedenplatz	45 s
4	Hietzing	43 s
5	Karlsplatz	42 s
6	Wien Mitte / Landstraße	34 s

Weiters wurde in Phase 1 festgestellt, dass die Fahrzeit der Fahrten von Endstation bis Endstation lediglich eine Schwankungsbreite von 10,23% auf Basis der im Fahrplan veröffentlichten Zeit von 29 min aufweist.

Nach Durchführung und Auswertung von Phase 1 wurden in **Phase 2** die Haltestellenaufenthaltszeiten in den (auf Basis von Phase 1 ermittelten) relevanten Haltestellen in der Morgen- und Abendspitze erhoben.

Dabei wurde für die Morgenspitze bei beiden Fahrtrichtungen ein Median in der Höhe von 27 Sekunden ermittelt. In der Abendspitze wurden Mediane in Fahrtrichtung Heiligenstadt von 29 Sekunden und in Fahrtrichtung Hütteldorf von 31 Sekunden berechnet. Es konnte somit eine tageszeitabhängige Schwankung der Haltestellenaufenthaltszeiten festgestellt werden

In Phase 2 wurden auch Vorschläge für die festzulegenden Haltestellenaufenthaltszeiten gemacht. Dabei wurden diese Haltestellenaufenthaltszeiten unter Berücksichtigung einer Mindeststeigung der relativen Verteilungskurven der Haltestellenaufenthaltszeiten von etwa 70° festgelegt. Die beiden Fahrtrichtungen werden gemeinsam betrachtet und für beide Richtungen eine gemeinsame Haltestellenaufenthaltszeit vorgeschlagen, wodurch der Bereich an welcher die Steigung 70° unterschreitet für beide Fahrtrichtungen einer gemeinsamen Analyse unterzogen wird, bei der das ausschlaggebende Kriterium die Höhe der dort vorhandenen Sprünge ist.

Unter Berücksichtigung dieser vorgeschlagenen festen Haltestellenaufenthaltszeiten je Haltestelle (Szenario 1) wurde bei der detaillierten **Auswertung** ermittelt, dass in der Morgenspitze das größte Potential in Fahrtrichtung Hütteldorf in der Station Karlsplatz vorhanden ist, denn bei einer Haltestellenaufenthaltszeit von 33 Sekunden können bei 95% der Halte die nicht benötigten Sekunden für eine energiesparende Fahrweise verwendet werden. Bei der Abendspitze ist das größte Potential in Richtung Hütteldorf mit einer Haltestellenaufenthaltszeit von 35 Sekunden in der Halte-

stelle Wien Mitte / Landstraße vorhanden, in dieser Station können bei 83% der Halte die nicht benötigten Sekunden für eine energiesparende Fahrweise verwendet werden. Weiters ist bei Verwendung der vorgeschlagenen Haltestellenaufenthaltszeiten bei 50% der Fahrten eine Fahrzeitverlängerung in der Morgenspitze von 35 Sekunden (Richtung Hütteldorf) bzw. 31 Sekunden (Richtung Heiligenstadt) zu erwarten. In der Abendspitze wurden Fahrzeitverlängerungen in Höhe von 18 Sekunden (Richtung Hütteldorf) und 27 Sekunden (Richtung Heiligenstadt) ermittelt.

Szenario 2 analysiert die Auswirkungen der Implementierung einer einheitlichen Haltestellenaufenthaltszeit von 33 Sekunden für alle Haltestellen in der Morgenspitze bzw. von 35 Sekunden für alle Haltestellen in der Abendspitze. Diese Festlegung würde in eine Fahrzeitverlängerung von maximal 6 Sekunden bei 50% der Fahrten resultieren. In der Morgenspitze können unter Berücksichtigung der festgelegten Haltestellenaufenthaltszeiten in Richtung Heiligenstadt bei 73% und in Richtung Hütteldorf bei 78% der Halte die nicht benötigten Sekunden in eine energiesparende Fahrweise investiert werden. In der Abendspitze können diese in Richtung Heiligenstadt bei 71% und in Richtung Hütteldorf bei 63% der Halte verwendet werden.

Im Szenario 3 werden die Auswirkungen einer für den gesamten Tag einheitlichen Haltestellenaufenthaltszeit von 34 Sekunden untersucht. Mittels dieser einheitlichen Haltestellenaufenthaltszeit können in Fahrtrichtung Heiligenstadt 78%, in Fahrtrichtung Hütteldorf 76% der Fahrten eine energiesparende Fahrweise realisieren. Bei Implementierung dieser Haltestellenaufenthaltszeit von 34 Sekunden ist eine Fahrzeitverlängerung bei 50% der Fahrten in Fahrtrichtung Heiligenstadt von lediglich 7 Sekunden bzw. in Fahrtrichtung Hütteldorf von 6 Sekunden zu erwarten.

Weiters wurde ein **Vorschlag** über die Einarbeitung in das LZB-System der Wiener U-Bahn gegeben. Dieser Vorschlag berücksichtigt keine betrieblichen oder sonstigen Auswirkungen wie eventuell zusätzliche notwendige Fahrer und Fahrzeuge odgl. Als Hilfestellung zur Entscheidungsfindung hinsichtlich einer eventuellen Implementierung wird nahegelegt mittels einer vertiefenden Untersuchung die möglichen Auswirkungen und der Nutzen der Implementierung der jeweiligen Haltestellenaufenthaltszeit gegenüber zu stellen und zu diskutieren. Als erster Schritt wurde vorgeschlagen, die derzeitige Haltestellenaufenthaltszeit von 20 auf 34 Sekunden zu erhöhen, damit könnten bereits um 65% mehr Fahrten eine energiesparende Fahrweise realisieren. In einem zweiten Schritt könnten weitere (das heißt über die Anzahl der in Phase 2 der empirischen Untersuchung hinausgehende Anzahl von) Haltestellen untersucht werden. Der dritte Schritt würde dann die Implementierung der festgelegten Haltestellenaufenthaltszeiten je Haltestelle und Tageszeit umfassen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass einige wenige Sekunden einen wesentlichen Einfluss auf die mögliche Ausführung einer energiesparenden Fahrweise haben. Folglich ist auf Grund der hohen Sensitivität der Werte eine Festlegung von unterschiedlichen pauschalen Haltestellenaufenthaltszeiten in den verschiedenen Zeitabschnitten des Tages im Hinblick auf eine energiesparende Fahrweise als sinnvoll zu erachten.

## Abbildungsverzeichnis

### LITERATURANALYSE

Abbildung 1.1:	Zeitanteile Reisezeit.....	3
Abbildung 1.2:	Zeitanteile Fahrzeit.....	3
Abbildung 1.3:	gleichmäßige Verteilung.....	4
Abbildung 1.4:	punktuelle Verteilung.....	5
Abbildung 1.5:	Störungsvergleich unterschiedlicher Regelzuschlagverteilung.....	6
Abbildung 1.6:	Zugfolgezeiten.....	8
Abbildung 1.7:	Pufferzeiten.....	9
Abbildung 1.8:	Zeitanteile Haltezeit.....	9
Abbildung 1.9:	Regelhaltezeit.....	10
Abbildung 1.10:	Verkehrshaltezeit.....	10
Abbildung 1.11:	Abfertigungszeit.....	11
Abbildung 1.12:	Übergangs- und Synchronisationszeit.....	12
Abbildung 1.13:	Schema manuelle Fahrplanerstellung.....	14
Abbildung 1.14:	Trassenlage inkl. Sperrzeitentreppe.....	15
Abbildung 2.1:	Gleismagnete.....	19
Abbildung 2.2:	LZB Führungsgrößen.....	21
Abbildung 3.1:	Fahrphasen in der Ebene, in der Steigung und im Gefälle.....	25
Abbildung 3.2:	straffe Fahrweise.....	26
Abbildung 3.3:	Abhängigkeit Energieverbrauch und Fahrzeit.....	26
Abbildung 3.4:	Energiesparende Fahrweise 1.....	29
Abbildung 3.5:	Energiesparende Fahrweise 2.....	29
Abbildung 3.6:	Energiesparende Fahrweise 3.....	30
Abbildung 3.7:	Anfahrbeschleunigung / Ausrollphase.....	31
Abbildung 3.8:	Energiesparende Fahrweise 4.....	31
Abbildung 3.9:	Fahrweisen Gegenüberstellung.....	32
Abbildung 3.10:	Fahrt mit Halt auf der Strecke.....	33
Abbildung 3.11:	Fahrt mit reduzierter Geschwindigkeit.....	33
Abbildung 3.12:	Energieoptimum Betrachtung gesamter Fahrweg.....	35
Abbildung 3.13:	Unterschied Haltezeitensteuerung (o.) / Fahrzeitsteuerung (u.)....	36
Abbildung 3.14:	Abschaltgeschwindigkeit / Energieverbrauch / Fahrzeit.....	37
Abbildung 4.1:	Aufteilung Haltestellenaufenthaltszeit.....	39
Abbildung 4.2:	Einsteigevorgang von Kindern.....	41
Abbildung 4.3:	Einstiegsbereich / Fahrzeuginnenraum.....	42
Abbildung 4.4:	Siemens V-Wagen.....	43
Abbildung 4.5:	Fahrgastzustrom (li.) / Abbau Rückstau maßgebend (re.).....	44
Abbildung 4.6:	Schema Einstiegshindernisse Spalt.....	45
Abbildung 4.7:	barrierefreie Einstiegsausbildung.....	46
Abbildung 4.8:	Auffangraum eines Siemens V-Wagens.....	47
Abbildung 4.9:	Innenraumgestaltung eines Siemens V-Wagen.....	48
Abbildung 4.10:	Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit: Fahrzeug	49
Abbildung 4.11:	Markierungen am Bahnsteig bzgl. Türbereiche.....	50

Abbildung 4.12:	Taktiler Leitsystem am Bahnsteig .....	52
Abbildung 4.13:	Schema Zwischenbahnsteig .....	53
Abbildung 4.14:	Schema Mittelbahnsteig .....	53
Abbildung 4.15:	Schema Seitenbahnsteig .....	53
Abbildung 4.16:	Variante 1 - Traditionelle Anordnung .....	54
Abbildung 4.17:	Variante 2 - Zwillingsbahnsteig mit Fahrgaststromtrennung .....	54
Abbildung 4.18:	Variante 3 - Zwillingsbahnsteig ohne Fahrgaststromtrennung .....	55
Abbildung 4.19:	Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit: Bahnsteig .....	55
Abbildung 4.20:	Sammelfunktion .....	56
Abbildung 4.21:	Verteilerfunktion .....	56
Abbildung 4.22:	Empfehlung zur Optimierung der Fahrgastwechselzeit .....	58
Abbildung 4.23:	Einflussfaktoren Fahrgastwechselzeit und Abhängigkeiten .....	59
Abbildung 4.24:	Einflussfaktoren Fahrgastwechselzeit und Abhängigkeiten .....	59

### EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG

Abbildung 1.1:	Wien Bezirke .....	61
Abbildung 1.2:	Modal Split Wien .....	61
Abbildung 1.3:	Netzplan U-Bahn und S-Bahn heute (Stand: 2015) .....	62
Abbildung 1.4:	U-Bahn Netz in Zukunft .....	63
Abbildung 1.5:	Fahrzeugtypen U1, U2, U3, U4: Silberpfeil (li.) / V-Wagen (re.) ....	64
Abbildung 1.6:	Fahrzeugtyp U6: T-Typ .....	64
Abbildung 1.7:	Haltestellenfolge U4 .....	66
Abbildung 1.8:	Stadtbahn Station Hietzing .....	66
Abbildung 1.9:	Haltestellenerrichtung .....	67
Abbildung 1.10:	Streckenführung Hochlage / Tieflage .....	67
Abbildung 1.11:	Streckenführung geschlossen / offen .....	67
Abbildung 1.12:	Umsteigerelationen U4 .....	68
Abbildung 2.1:	Beispiel Erhebungsblatt Phase 1 .....	70
Abbildung 2.2:	Bandbreite erhobener Haltestellenaufenthaltszeiten .....	71
Abbildung 2.3:	Beispiel Erhebungsblatt Phase 2 .....	74
Abbildung 2.4:	Lage Haltestelle Hietzing .....	76
Abbildung 2.5:	Lage Haltestelle Längenfeldgasse .....	79
Abbildung 2.6:	Haltestelle Längenfeldgasse .....	79
Abbildung 2.7:	Lage Haltestelle Karlsplatz .....	83
Abbildung 2.8:	Haltestelle Karlsplatz Blick Richtung Westen .....	83
Abbildung 2.9:	Haltestelle Karlsplatz Blick Richtung Osten .....	84
Abbildung 2.10:	Lage Haltestelle Wien Mitte / Landstraße .....	87
Abbildung 2.11:	Haltestelle Wien Mitte / Landstraße .....	87
Abbildung 2.12:	Lage Haltestelle Schwedenplatz .....	91
Abbildung 2.13:	Lage Haltestelle Schottenring .....	94
Abbildung 2.14:	Haltestelle Schottenring .....	94

## Quellenverzeichnis – Abbildungen

### LITERATURANALYSE

- Abbildung 1.3: Abbildung 22, S. 35 aus: S. Tanzler, "Ansätze zur effizienten Kapazitätsausnutzung bei S-Bahnsystemen", Diplomarbeit, Institut für Verkehrswissenschaften, Technische Universität Wien, Wien, 2010, leicht modifiziert. [6]
- Abbildung 1.4: Abbildung 23, S. 35 aus: S. Tanzler, "Ansätze zur effizienten Kapazitätsausnutzung bei S-Bahnsystemen", Diplomarbeit, Institut für Verkehrswissenschaften, Technische Universität Wien, Wien, 2010, leicht modifiziert. [6]
- Abbildung 1.5: Abbildung 24, S. 36 aus: S. Tanzler, "Ansätze zur effizienten Kapazitätsausnutzung bei S-Bahnsystemen", Diplomarbeit, Institut für Verkehrswissenschaften, Technische Universität Wien, Wien, 2010, leicht modifiziert. [6]
- Abbildung 1.6: Abb. 6.7, S. 176 aus: J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. [3]
- Abbildung 1.7: Abb. 6.8, S. 178 aus: J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. [3]
- Abbildung 1.9: Abb. 6.5, S. 175 aus: J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. [3]
- Abbildung 1.10: Abb. 6.6, S. 176 aus: J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013; leicht modifiziert. [3]
- Abbildung 1.11: Abb. 6.6, S. 176 aus: J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013; leicht modifiziert. [3]
- Abbildung 1.12: Abb. 6.15, S. 183 aus: J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. [3]
- Abbildung 1.13: Abb. 6.22, S. 189 aus: J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. [3]
- Abbildung 1.14: Abb. 6.23, S. 191 aus: J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. [3]

- Abbildung 2.1: Abb. 3.25, S. 73 aus: J. Pacht, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. [3]
- Abbildung 2.2: Abb. 3.28, S. 77 aus: J. Pacht, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. [3]
- Abbildung 3.1: Abbildung 2.10, S. 21 aus: S. Oettich, „DIE FLEXIBLE S-BAHN: Energiesparende und anschlussoptimierende Flexibilisierung der Fahrweisen und Fahrzeiten - Das neuartige Fahrerassistenzsystem ENAflex-S \* Theorie \* Labortests \* Praxiserprobung \*“, in BMBF-Leitprojekt intermobil Region Dresden, Bd. 6, Dresden, Technische Universität Dresden, 2005; leicht modifiziert. [16]
- Abbildung 3.3: Abbildung 8.3, S. 136 aus: T. Albrecht, „DIE FLEXIBLE S-BAHN: Nutzbarmachung Genetische Algorithmen für die optimale Steuerung und Planung eines flexiblen Stadtschnellbahnbetriebes“, in Das BMBF-Leitprojekt intermobil Region Dresden, Bd. 5, Dresden, Technische Universität Dresden, 2004. [9]
- Abbildung 3.7: Abb. 5, S. 257 aus C. Levin, „Analyse des Energieverbrauchs von U-Bahnen und Möglichkeiten zur Verbrauchssenkung“, in VDI Berichte - Bahnen und Umwelt, Bd. 1488, Düsseldorf, VDI Verlag GmbH, 1999, S. 249-261.; leicht modifiziert. [14]
- Abbildung 3.10: Abbildung 31, S. 49 aus: S. Tanzler, "Ansätze zur effizienten Kapazitätsausnutzung bei S-Bahnsystemen", Diplomarbeit, Institut für Verkehrswissenschaften, Technische Universität Wien, Wien, 2010. [6]
- Abbildung 3.11: Abbildung 33, S. 50 aus S. Tanzler, "Ansätze zur effizienten Kapazitätsausnutzung bei S-Bahnsystemen", Diplomarbeit, Institut für Verkehrswissenschaften, Technische Universität Wien, Wien, 2010. [6]
- Abbildung 3.12: Abbildung 94, S. 111 aus: H. Strobel, „Zusammenfassung“, in BMBF-Leitprojekt intermobil Region Dresden, Bd. 1, Dresden, Technische Universität Dresden, 2005. [21]
- Abbildung 3.13: Abbildung 2.1, S. 19 aus: T. Albrecht, „DIE FLEXIBLE S-BAHN: Nutzbarmachung Genetische Algorithmen für die optimale Steuerung und Planung eines flexiblen Stadtschnellbahnbetriebes“, in Das BMBF-Leitprojekt intermobil Region Dresden, Bd. 5, Dresden, Technische Universität Dresden, 2004. [9]

- Abbildung 3.14: Abb. 6, S. 258 aus: C. Levin, „Analyse des Energieverbrauchs von U-Bahnen und Möglichkeiten zur Verbrauchssenkung,“ in VDI Berichte - Bahnen und Umwelt, Bd. 1488, Düsseldorf, VDI Verlag GmbH, 1999, S. 249-261. [14]
- Abbildung 4.1: Abb. 6.6, S. 176 aus J. Pacht, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013; leicht modifiziert. [3]
- Abbildung 4.2: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Sicherheit hat Vorrang,“ [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/sicherheitsfolder\\_19352.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/sicherheitsfolder_19352.pdf). [Zugriff am 13 04 2016].
- Abbildung 4.4: Abbildung, S. 3 aus: Siemens AG, „Metro System - Wien V-Wagen, Österreich,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/de/rail-solutions/metros /slideshow/datenblatt-metro-wien-de.pdf>. [Zugriff am 13 04 2016]. [26]
- Abbildung 4.5: Abb. 2-14, S. 23 aus: U. Weidmann, "Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr", Dissertation, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 1994. [24]
- Abbildung 4.7: Abbildung, S. 9 aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Selbstbestimmt durch die Stadt - Barrierefrei in Wien unterwegs,“ [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/barrierefrei%20unterwegs\\_29149.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/barrierefrei%20unterwegs_29149.pdf). [Zugriff am 13 04 2016].
- Abbildung 4.9: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - V-Zug, Innenansicht,“ Johannes Zinner, 13. Oktober 2014. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/Alle/Images/detail/12180>. [Zugriff am 13 04 2016].
- Abbildung 4.10: Abbildung 3, S. 18 aus: N. Lehnhoff und S. Janssen, „Abschätzung der Haltestellenaufenthaltszeiten im Nahverkehr,“ [Online]. Available: <http://ivh.ivs.bau.tu-bs.de/peb/de/Mitarbeiter/ehemalige/lehnhoff-Dateien/veroeffentlichungen/Abschaetzung %20der%20Haltestellenaufenthaltszeiten.pdf>. [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [28]
- Abbildung 4.11: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - Markierung Station Westbahnhof,“ Johannes Zinner, 7. Mai 2012. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/U6/Images/detail/4930>. [Zugriff am 13 04 2016].

- Abbildung 4.12: Abbildung, S. 8 aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Selbstbestimmt durch die Stadt - Barrierefrei in Wien unterwegs,“ [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/barrierefrei%20unterwegs\\_29149.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/barrierefrei%20unterwegs_29149.pdf). [Zugriff am 13 04 2016].
- Abbildung 4.16: Abbildung aus: R. Müller, „Beitrag zur Leistungssteigerung von Personenverkehrsanlagen - Aspekte des Einsatzes, der Gestaltung und Bemessung von Zwillingsbahnsteigen,“ 18. November 2005. [Online]. Available: [https://www-docs.tu-cottbus.de/verkehrswesen/public/Lehre/Stud\\_Arbeiten/Diplomarbeiten/mueller.pdf](https://www-docs.tu-cottbus.de/verkehrswesen/public/Lehre/Stud_Arbeiten/Diplomarbeiten/mueller.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]. [29]
- Abbildung 4.17: Abbildung aus: R. Müller, „Beitrag zur Leistungssteigerung von Personenverkehrsanlagen - Aspekte des Einsatzes, der Gestaltung und Bemessung von Zwillingsbahnsteigen,“ 18. November 2005. [Online]. Available: [https://www-docs.tu-cottbus.de/verkehrswesen/public/Lehre/Stud\\_Arbeiten/Diplomarbeiten/mueller.pdf](https://www-docs.tu-cottbus.de/verkehrswesen/public/Lehre/Stud_Arbeiten/Diplomarbeiten/mueller.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]. [29]
- Abbildung 4.18: Abbildung aus: R. Müller, „Beitrag zur Leistungssteigerung von Personenverkehrsanlagen - Aspekte des Einsatzes, der Gestaltung und Bemessung von Zwillingsbahnsteigen,“ 18. November 2005. [Online]. Available: [https://www-docs.tu-cottbus.de/verkehrswesen/public/Lehre/Stud\\_Arbeiten/Diplomarbeiten/mueller.pdf](https://www-docs.tu-cottbus.de/verkehrswesen/public/Lehre/Stud_Arbeiten/Diplomarbeiten/mueller.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]. [29]
- Abbildung 4.19: Abbildung 3, S. 18 aus: N. Lehnhoff und S. Janssen, „Abschätzung der Haltestellenaufenthaltszeiten im Nahverkehr,“ [Online]. Available: <http://ivh.ivs.bau.tu-bs.de/peb/de/Mitarbeiter/ehemalige/lehnhoff-Dateien/veroeffentlichungen/Abschaetzung%20der%20Haltestellenaufenthaltszeiten.pdf>. [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [28]
- Abbildung 4.20: Abb. 6-3, S. 232 aus: U. Weidmann, "Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr", Dissertation, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 1994. [24]
- Abbildung 4.21: Abb. 6-3, S. 232 aus: U. Weidmann, "Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr", Dissertation, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 1994. [24]
- Abbildung 4.22: Abbildung 3, S. 18 aus: N. Lehnhoff und S. Janssen, „Abschätzung der Haltestellenaufenthaltszeiten im Nahverkehr,“ [Online]. Available: <http://ivh.ivs.bau.tu-bs.de/peb/de/Mitarbeiter/ehemalige/lehnhoff-Dateien/veroeffentlichungen/Abschaetzung%20der%20Haltestellenaufenthaltszeiten.pdf>. [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [28]

Abbildung 4.23: Abb. 6-1, S. 221 aus: U. Weidmann, "Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr", Dissertation, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 1994. [24]

Abbildung 4.24: Abb. 6-2, S. 227 aus: U. Weidmann, "Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr", Dissertation, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 1994. [24]

### EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG

Abbildung 1.2: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Zahlen Daten Fakten,“ 2014. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/files/2015/betriebsangaben\\_2014\\_151135.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/files/2015/betriebsangaben_2014_151135.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [30]

Abbildung 1.3: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Der Plan der schnellsten Wege,“ Oktober 2014. [Online]. Available: [https://www.wienerlinien.at/media/files/2014/svp\\_139764.pdf](https://www.wienerlinien.at/media/files/2014/svp_139764.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert.

Abbildung 1.4: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Wiens U-Bahn Netz der Zukunft,“ APA-Auftragsgrafik, [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/files/2015/linie\\_u2\\_u5\\_161926.jpg](http://www.wienerlinien.at/media/files/2015/linie_u2_u5_161926.jpg). [Zugriff am 13 04 2016].

Abbildung 1.5: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - Züge der Linie U4 und U6,“ Johannes Zinner, 8. Dezember 2011. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/U4/Images/detail/3177>. [Zugriff am 13 04 2016].

Abbildung 1.6: Abbildung, S.4 aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Schienenfahrzeuge der WIENER LINIEN,“ [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/schienenfahrzeuge\\_kinder\\_53382.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/schienenfahrzeuge_kinder_53382.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [33]

Abbildung 1.7: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [37]

Abbildung 1.8: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - Stadtbahn,“ Wiener Linien, 3. Dezember 1980. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/Archiv-1980/Images/detail/4430>. [Zugriff am 13 04 2016].

Abbildung 1.12: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [37]

- Abbildung 2.4: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [37]
- Abbildung 2.5: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [37]
- Abbildung 2.6 (li.): Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - U4 V-Zug, Station Längenfeldgasse,“ Johannes Zinner, 8. Dezember 2011. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/U4/Images/detail/3231>. [Zugriff am 13 04 2016]. (li.),
- Abbildung 2.6 (re.): Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - U4, Nightline,“ Johannes Zinner, 4. September 2010. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/U4/Images/detail/3821>. [Zugriff am 13 04 2016].
- Abbildung 2.7: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [37]
- Abbildung 2.8: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - U4-Station Karlsplatz,“ Johannes Zinner, 13. November 2015. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/U4/Images/detail/14393>. [Zugriff am 13 04 2016].
- Abbildung 2.9: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - U4, Silberpfeil, Station Karlsplatz,“ Johannes Zinner, 8. Dezember 2011. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/U4/Images/detail/3195>. [Zugriff am 13 04 2016].
- Abbildung 2.10: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [37]
- Abbildung 2.11: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - Kampagne Saubere Öffis,“ M. Helmer, 9. April 2014. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/U4/Images/detail/10750>. [Zugriff am 13 04 2016].
- Abbildung 2.12: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [37]

- Abbildung 2.13: Abbildung aus: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016]; leicht modifiziert. [37]
- Abbildung 2.14: Wiener Linien GmbH & Co KG, „Bildstrecke - U4, Station Schottenring,“ Johannes Zinner, 25. Jänner 2012. [Online]. Available: <http://www.bildstrecke.at/U4/Images/detail/4061>. [Zugriff am 13 04 2016].

Alle hier nicht eigens nachgewiesenen Abbildungen stammen vom Autor.

## Tabellenverzeichnis

### LITERATURANALYSE

Tabelle 3.1: Energiesparende Fahrweisen.....	32
--	----

### EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG

Tabelle 1.1: Fahrzeugpark Wiener Linien (Stand: 29.06.2015).....	65
Tabelle 2.1: Datenumfang Erhebungen – Phase 2 .....	75
Tabelle 2.2: Hietzing Details Datenerhebung und Datenpunkte.....	76
Tabelle 2.3: Längenfeldgasse Details Datenerhebung und Datenpunkte .....	80
Tabelle 2.4: Karlsplatz Details Datenerhebung und Datenpunkte.....	84
Tabelle 2.5: Wien Mitte – Landstraße Details Datenerhebung und Datenpunkte..	88
Tabelle 2.6: Schwedenplatz Details Datenerhebung und Datenpunkte .....	91
Tabelle 2.7: Schottenring Details Datenerhebung und Datenpunkte .....	95
Tabelle 2.8: Gesamt Details Datenerhebung und Datenpunkte .....	98
Tabelle 2.9: Morgenspitze, Fahrtrichtung Heiligenstadt – statistische Werte .....	100
Tabelle 2.10: Morgenspitze, Fahrtrichtung Hütteldorf – statistische Werte .....	100
Tabelle 2.11: Gesamt Morgenspitze, beide Fahrtrichtungen – statistische Werte	100
Tabelle 2.12: Abendspitze, Fahrtrichtung Heiligenstadt – statistische Werte.....	103
Tabelle 2.13: Abendspitze, Fahrtrichtung Hütteldorf – statistische Werte .....	103
Tabelle 2.14: Gesamt Abendspitze, beide Fahrtrichtungen – statistische Werte ..	103
Tabelle 2.15: Auswertung Morgenspitze je Haltestelle .....	106
Tabelle 2.16: Auswertung Abendspitze je Haltestelle .....	107
Tabelle 2.17: Auswertung Morgenspitze alle Haltestellen.....	108
Tabelle 2.18: Auswertung Abendspitze alle Haltestellen.....	108
Tabelle 2.19: Datenumfang Erhebungen – Phase 1 und 2 .....	109
Tabelle 2.20: Gesamter Tagesverlauf Details Datenerhebung und Datenpunkte .	110
Tabelle 2.21: Gesamt Tagesverlauf – statistische Werte .....	113
Tabelle 2.22: Auswertung gesamter Tagesverlauf.....	114
Tabelle 3.1: Einflussfaktoren auf die Haltestellenaufenthaltszeit .....	118

## Quellenverzeichnis – Tabellen

Alle Tabellen stammen vom Autor.

## Diagrammverzeichnis

### LITERATURANALYSE

Keine Diagramme

### EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG

Diagramm 2.1:	Hietzing Morgenspitze – absolute Verteilung .....	77
Diagramm 2.2:	Hietzing Morgenspitze – relative Verteilung .....	77
Diagramm 2.3:	Hietzing Abendspitze – absolute Verteilung .....	78
Diagramm 2.4:	Hietzing Abendspitze – relative Verteilung .....	78
Diagramm 2.5:	Längenfeldgasse Morgenspitze – absolute Verteilung .....	81
Diagramm 2.6:	Längenfeldgasse Morgenspitze – relative Verteilung .....	81
Diagramm 2.7:	Längenfeldgasse Abendspitze – absolute Verteilung .....	82
Diagramm 2.8:	Längenfeldgasse Abendspitze – relative Verteilung .....	82
Diagramm 2.9:	Karlsplatz Morgenspitze – absolute Verteilung .....	85
Diagramm 2.10:	Karlsplatz Morgenspitze – relative Verteilung .....	85
Diagramm 2.11:	Karlsplatz Abendspitze – absolute Verteilung .....	86
Diagramm 2.12:	Karlsplatz Abendspitze – relative Verteilung .....	86
Diagramm 2.13:	Wien Mitte / Landstraße Morgenspitze – absolute Verteilung .....	89
Diagramm 2.14:	Wien Mitte / Landstraße Morgenspitze – relative Verteilung .....	89
Diagramm 2.15:	Wien Mitte / Landstraße Abendspitze – absolute Verteilung .....	90
Diagramm 2.16:	Wien Mitte / Landstraße Abendspitze – relative Verteilung .....	90
Diagramm 2.17:	Schwedenplatz Morgenspitze – absolute Verteilung .....	92
Diagramm 2.18:	Schwedenplatz Morgenspitze – relative Verteilung .....	92
Diagramm 2.19:	Schwedenplatz Abendspitze – absolute Verteilung .....	93
Diagramm 2.20:	Schwedenplatz Abendspitze – relative Verteilung .....	93
Diagramm 2.21:	Schottenring Morgenspitze – absolute Verteilung .....	96
Diagramm 2.22:	Schottenring Morgenspitze – relative Verteilung .....	96
Diagramm 2.23:	Schottenring Abendspitze – absolute Verteilung .....	97
Diagramm 2.24:	Schottenring Abendspitze – relative Verteilung .....	97
Diagramm 2.25:	Gesamt Morgenspitze – absolute Verteilung .....	99
Diagramm 2.26:	Gesamt Morgenspitze – relative Verteilung .....	99
Diagramm 2.27:	Gesamt Morgenspitze – Normalverteilung .....	101
Diagramm 2.28:	Gesamt Morgenspitze – Häufigkeitsverteilung .....	101
Diagramm 2.29:	Gesamt Abendspitze – absolute Verteilung .....	102
Diagramm 2.30:	Gesamt Abendspitze – relative Verteilung .....	102
Diagramm 2.31:	Gesamt Abendspitze – Normalverteilung .....	104
Diagramm 2.32:	Gesamt Abendspitze – Häufigkeitsverteilung .....	104
Diagramm 2.33:	Gesamt Tagesverlauf – absolute Verteilung .....	111
Diagramm 2.34:	Gesamt Tagesverlauf – relative Verteilung .....	112
Diagramm 2.35:	Gesamt Tagesverlauf – Normalverteilung .....	113
Diagramm 2.36:	Gesamt Tagesverlauf – Häufigkeitsverteilung .....	114
Diagramm 2.37:	Gesamt Fahrzeugtyp – relative Verteilung .....	115

## **Quellenverzeichnis – Diagramme**

Alle Diagramme stammen vom Autor.

## Quellenverzeichnis – Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft Mobilität - FGM, „Leitfaden für barrierefreien Öffentlichen Verkehr - Anforderungen an barrierefreie Bus- und Straßenbahnhaltstellen,“ Dezember 2009. [Online]. Available: [http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/barrierefreiheit/downloads/leitfaden\\_haltestellen.pdf](http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/barrierefreiheit/downloads/leitfaden_haltestellen.pdf). [Zugriff am 13 04 2016].
- [2] Magistrat der Stadt Wien, „Smart City Wien - Rahmenstrategie,“ [Online]. Available: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008380a.pdf>. [Zugriff am 13 04 2016].
- [3] J. Pachl, Systemtechnik des Schienenverkehrs - Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013.
- [4] W. Rollinger, Öffentlicher Personennahverkehr ÖPNV - Handbuch zur Vorlesung aus ÖPNV, Wien: Skriptum der Technischen Universität Wien, 2014.
- [5] H. Jenewein, "Energiesparende Fahrweise unter Berücksichtigung der Fahrgastwechselzeit", Diplomarbeit, Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen, Technische Universität Wien, Wien, 2006.
- [6] S. Tanzler, "Ansätze zur effizienten Kapazitätsausnutzung bei S-Bahnsystemen", Diplomarbeit, Institut für Verkehrswissenschaften, Technische Universität Wien, Wien, 2010.
- [7] ÖBB-Personenverkehr AG, „Pünktlichkeitsstatistik Österreich,“ [Online]. Available: <http://www.oebb.at/de/Services/Puenktlichkeitsstatistik/Oesterreich/index.jsp>. [Zugriff am 25 11 2015].
- [8] J. Fiedler, Bahnwesen - Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen, 5. Aufl., München/Unterschleißheim: Werner Verlag, 2005.
- [9] T. Albrecht, „DIE FLEXIBLE S-BAHN: Nutzbarmachung Genetische Algorithmen für die optimale Steuerung und Planung eines flexiblen Stadtschnellbahnbetriebes,“ in *Das BMBF-Leitprojekt intermobil Region Dresden*, Bd. 5, Dresden, Technische Universität Dresden, 2004.
- [10] P. Naumann und J. Pachl, Leit- und Sicherungstechnik im Bahnbetrieb: Fachlexikon, Hamburg: Tetzlaff, 2002.
- [11] V. Matthews, Bahnbau, 8. Aufl., Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
- [12] M. Krüger, „Zugsicherung in Deutschland - von der LZB zu ETCS,“ *Eisenbahningenieur*, Nr. 54, S. 27-31, Februar 2003.

- [13] T. Hackstein und C. Weber, „Anwendung der PZB 90 bei Regelvorsignalabständen < 1000 m,“ *Eisenbahningenieur*, S. 14-17, Februar 2010.
- [14] C. Levin, „Analyse des Energieverbrauchs von U-Bahnen und Möglichkeiten zur Verbrauchssenkung,“ in *VDI Berichte - Bahnen und Umwelt*, Bd. 1488, Düsseldorf, VDI Verlag GmbH, 1999, S. 249-261.
- [15] B. Ackerl, "Optimierung der Abstimmung von Fahrgeschwindigkeit und Trassierungsparametern im Wiener U-Bahn-Netz am Beispiel der Linie U3", Diplomarbeit, Institut für Verkehrswissenschaften, Technische Universität Wien, Wien, 2014.
- [16] S. Oettich, „DIE FLEXIBLE S-BAHN: Energiesparende und anschlussoptimierende Flexibilisierung der Fahrweisen und Fahrzeiten - Das neuartige Fahrerassistenzsystem ENAflex-S \* Theorie \* Labortests \* Praxiserprobung \*,“ in *BMBF-Leitprojekt intermobil Region Dresden*, Bd. 6, Dresden, Technische Universität Dresden, 2005.
- [17] D. Sanftleben und K. Weber, „Die Anwendung der energiesparenden Fahrweise im ICE-Betrieb,“ in *VDI Berichte - Bahnen und Umwelt*, Bd. 1488, Düsseldorf, VDI Verlag GmbH, 1999, S. 233-248.
- [18] U. Linder und T. Baier, „Energiesparsame Fahrweise im Nahverkehr,“ *Eisenbahntechnische Rundschau*, Nr. 51, S. 432-438, Juli/August 2002.
- [19] T. Albrecht et al., „Bessere Echtzeitinformationen für Triebfahrzeugführer und Fahrdienstleiter,“ *Eisenbahningenieur*, Nr. 58, S. 73-79, Juni 2007.
- [20] A. Oetting, „Zuglaufregelung - Optimierte Steuerung der Züge im Betrieb,“ *Eisenbahntechnische Rundschau*, Nr. 10, S. 654-658, Oktober 2008.
- [21] H. Strobel, „Zusammenfassung,“ in *BMBF-Leitprojekt intermobil Region Dresden*, Bd. 1, Dresden, Technische Universität Dresden, 2005.
- [22] „Energiesparende Fahrweisen im S-Bahn-Verkehr,“ *Eisenbahntechnische Rundschau*, Nr. 3, S. 133, März 2007.
- [23] N. Brückner und A. Isailovski, „CrCo - Ein Algorithmus zum Einsparen von Fahrenergie,“ *Signal+ Draht*, Nr. 102, S. 43-46, Oktober 2010.
- [24] U. Weidmann, "Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr", Dissertation, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 1994.

- [25] B. Rüger und D. Tuna, „Der Einfluss unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte auf die Haltezeit,“ in *OVE-Schriftenreihe - Technisch-wirtschaftliche Optimierungspotentiale für den Nahverkehr - 12. Wiener Eisenbahnkolloquium*, Bd. 74, Wien, Eigenverlag des Österreichischen Verbandes für Elektrotechnik, 2014, S. 87-96.
- [26] Siemens AG, „Metro System - Wien V-Wagen, Österreich,“ 2013. [Online]. Available: <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/de/rail-solutions/metros/slideshow/datenblatt-metro-wien-de.pdf>. [Zugriff am 13 04 2016].
- [27] D. Tuna, "Fahrgastwechselzeit im Personenfernverkehr", Diplomarbeit, Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen, Technische Universität Wien, Wien, 2008.
- [28] N. Lehnhoff und S. Janssen, „Abschätzung der Haltestellenaufenthaltszeiten im Nahverkehr,“ [Online]. Available: <http://ivh.ivs.bau.tu-bs.de/peb/de/Mitarbeiter/ehemalige/lehnhoff-Dateien/veroeffentlichungen/Abschaetzung%20der%20Haltestellenaufenthaltszeiten.pdf>. [Zugriff am 13 04 2016].
- [29] R. Müller, „Beitrag zur Leistungssteigerung von Personenverkehrsanlagen - Aspekte des Einsatzes, der Gestaltung und Bemessung von Zwillingsbahnsteigen,“ 18. November 2005. [Online]. Available: [https://www-docs.tu-cottbus.de/verkehrswesen/public/Lehre/Stud\\_Arbeiten/Diplomarbeiten/mueller.pdf](https://www-docs.tu-cottbus.de/verkehrswesen/public/Lehre/Stud_Arbeiten/Diplomarbeiten/mueller.pdf). [Zugriff am 13 04 2016].
- [30] Wiener Linien GmbH & Co KG, „Zahlen Daten Fakten,“ 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/files/2016/betriebsangaben\\_2015\\_178355.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/files/2016/betriebsangaben_2015_178355.pdf). [Zugriff am 13 04 2016].
- [31] W. J. Hinkel et al., U-Bahnen gestern-heute-morgen von 1863 bis 2010, Wien: N. J. Schmid Verlag, 2004.
- [32] Wiener Stadtwerke Holding AG, „Die letzte Lücke im Wiener U-Bahn Netz wird gefüllt, der Bau des 'Linienkreuzes' U2/U5 ist beschlossene Sache. 2018 geht es los.,“ *Mobil Wien - Das Mobilitätsmagazin der Wiener Stadtwerke*, S. 22-29, August 2014.
- [33] Wiener Linien GmbH & Co KG, „Schienenfahrzeuge der WIENER LINIEN,“ [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/schienenfahrzeuge\\_kinder\\_53382.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/files/2014/schienenfahrzeuge_kinder_53382.pdf). [Zugriff am 13 04 2016].

- [34] Wiener Linien GmbH & Co KG, „Wiener Linien Blog - Meilensteine der Wiener Linien: 1972 – Der erste Silberpfeil wird ausgeliefert,“ [Online]. Available: <http://blog.wienerlinien.at/silberpfeil/>. [Zugriff am 13 04 2016].
- [35] Wiener Linien GmbH & Co KG, Besprechung am 25.02.2016 mit Paul Steckler & Johannes Kehrer, in Wien-Erdberg (Wiener Linien).
- [36] Wiener Linien GmbH & Co KG, „30 Jahre U4 nach Hütteldorf,“ 20. Dezember 2011. [Online]. Available: <http://www.vipress.at/wiener-stadtwerke/news/meldung/1885/smarter/1/>. [Zugriff am 13 04 2016].
- [37] Wiener Linien GmbH & Co KG, „Fahrplan Linie U4,“ 19. März 2015. [Online]. Available: [http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie\\_U4\\_159033.pdf](http://www.wienerlinien.at/media/download/2015/Linie_U4_159033.pdf). [Zugriff am 13 04 2016].
- [38] Wien-konkret Medien GmbH, „U4 Stationen,“ [Online]. Available: <http://www.wien-konkret.at/verkehr/u-bahn/u4/>. [Zugriff am 13 04 2016].