

# Bachelorarbeit

## Fahrzeitvergleich innerstädtischer Verkehrsmittel

Markus Haferl

markus.haferl@tuwien.ac.at

Matr.Nr. 11771154

Datum: 30.10.2022

Ein wesentlicher Entscheidungsgrund zur Wahl eines bestimmten Verkehrsmittels ist die absolute Fahrzeit auf einer Route. [2] In dieser Arbeit wird ermittelt, welche Einflussfaktoren dazu beitragen, dass die innerstädtischen Verkehrsmittel U-Bahn, S-Bahn und Straßenbahn mit denselben Anfangs- und Endpunkten unterschiedliche Fahrzeiten aufweisen.

Als Einflussfaktoren zählen neben der zurückgelegten Strecke folgende Punkte:

- Zwischenstationshalte
- Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer
- Fahrzeugeigenschaften
- Fahrzeug- und Bahnsteigdesign
- Zugbeeinflussungssystem
- Haltezeiten
- Wartezeiten
- Fußgehwege
- (Takt-)Fahrplan

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
1.1	Relevanz.....	3
1.2	Forschungsfragen .....	4
2	Grundlagen und Theorie.....	4
2.1	Definition: U-Bahn.....	4
2.2	Definition S-Bahn.....	5
2.3	Definition Straßenbahn.....	5
2.4	Einfluss des Zugbeeinflussungssystems auf die Verkehrsmittel .....	6
2.4.1	Punktförmiges Zugbeeinflussungssystem (PZB) .....	6
2.4.2	Linienförmiges Zugbeeinflussungssystem (LZB).....	6
3	Methodik .....	7
3.1	Einfluss des Fahrplanes.....	10
3.2	Zusätzlich zu berücksichtigende Zeiten .....	10
3.3	Vergleichsstrecken .....	10
3.4	Kennzahlen und Vergleichsparameter.....	11
4	Fahrzeitenvergleich.....	11
4.1	Fahrzeitenvergleich Wien Hauptbahnhof – Wien Praterstern .....	12
4.2	Fahrzeitenvergleich Wien Floridsdorf – Wien Meidling.....	13
4.3	Fahrzeitvergleich Wien Heiligenstadt – Wien Hütteldorf .....	14
4.4	Fahrzeitvergleich München Marienplatz – München Moosach .....	15
4.5	Fahrzeitvergleich München Westfriedhof – München Hauptbahnhof.....	16
4.6	Fahrzeitvergleich München Moosach – München Hauptbahnhof .....	17
4.7	Fahrzeitvergleich Mailand Rogoredo – Mailand Repubblica .....	18
4.8	Mailand Porta Genova – Mailand Lanza Brera.....	19
4.9	Fahrzeitvergleich Paris Nation – Paris Charles de Gaulle Étoile.....	20
4.10	Paris Gare Lyon – Paris Châtelet les Halles .....	21
4.11	Fahrzeitvergleich auf Beispielstrecke .....	22
4.11.1	Abhängigkeit der Stationshalte bei S-Bahn und U-Bahn .....	22
4.11.2	Fahrzeitvergleich beim Ausbau der U-Bahn-Strecke nach Klosterneuburg.....	24
5	Analyse der unterschiedlichen Fahrzeiten .....	26
6	Diskussion der Ergebnisse.....	27
7	Fazit.....	31
	Literaturverzeichnis .....	32
	Abbildungsverzeichnis .....	34
	Tabellenverzeichnis.....	34

## 1 Einleitung

### 1.1 Relevanz

Um über einen umweltverträglichen und sozialgerechten Verkehr in Zukunft zu verfügen, muss der öffentliche Verkehr ausgebaut werden. Der strategische Ausbau der öffentlichen Verkehrsmittel soll an die sich stark verändernden gesellschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen angepasst werden. Dabei ist eine Konkurrenzfähigkeit zum motorisierten Individualverkehr notwendig. In der Abb. 1 ist ersichtlich, dass der öffentliche Verkehr ein großes Ausbaupotential bei Arbeits-, Privat- und Einkaufswegen hat. [1]

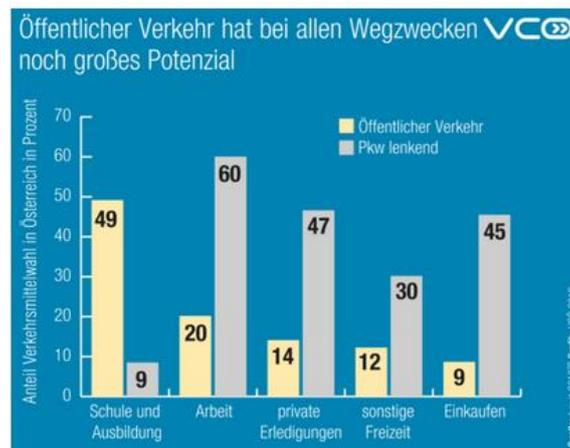


Abb. 1: Ausbaupotential Öffentlicher Verkehr [1]

Die wichtigste Angebotsvariable zur Verkehrsmittelwahl ist die Bruttofahrzeit eines Verkehrsmittels [2, Seite 11]. Die Fahrzeit setzt sich nicht nur aus der Fahrzeit von einem Startbahnhof zu einem Zielbahnhof zusammen, sondern beinhaltet auch die durchschnittlichen Geh- und Wartezeiten.

Diese Arbeit soll als Entscheidungsgrundlage dienen, welches schienengebundene Verkehrsmittel auf einer gewissen Strecke idealerweise errichtet werden soll. Dabei spielen die Anzahl der Haltestationen und Zugangswege zum Bahnhof eine große Rolle. Diese müssen an die örtlichen Gegebenheiten und an die Nachfrage angepasst werden. Aus den ausgewerteten Daten soll analysiert werden, welche Unterscheidungsmerkmale die einzelnen Verkehrsmittel haben und ob zur Entlastung einer Streckenverbindung ein anderes schienengebundenes Verkehrsmittel errichtet werden könnte.

Zur Beurteilung der Einflussfaktoren der Zusammensetzung der Fahrzeit verschiedener schienengebundener Verkehrsmittel muss zuerst erläutert werden, wie diese definiert sind und welche Unterscheidungsmerkmale eine Straßenbahn, S-Bahn und U-Bahn aufweisen. Die Anzahl der Haltestationen muss berücksichtigt werden, um den Einfluss von Personenwechselzeiten und technischen fahrdynamischen Einflussfaktoren zu begründen.

Zur Beurteilung der Schienenverkehrsmittel (Straßenbahn, S-Bahn und U-Bahn) werden drei Verkehrsrouten in Wien, sowie sieben Strecken in internationalen Städten (Mailand, München, Paris) analysiert und die Ergebnisse miteinander verglichen. Es werden verschiedene europäische Städte gewählt, um die Fahrzeitunterschiede aufgrund verschiedener Fahrzeugmodelle, Betriebskonzepte, Sicherungssysteme und Fahrwege zu vergleichen.

In Wien werden die Verkehrsrouten Wien Hauptbahnhof – Wien Praterstern, Wien Floridsdorf – Wien Meidling, Wien Hütteldorf – Wien Heiligenstadt analysiert. An der Strecke Wien Hauptbahnhof nach Wien Praterstern werden alle drei Verkehrsmittel (S-Bahn, U-Bahn und Straßenbahn) miteinander verglichen.

In München ist durch die vergleichsmäßig hohen Endgeschwindigkeiten der S-Bahn ein interessanter Vergleich zwischen U-Bahn und S-Bahn möglich. Außerdem wird die Verkehrsrouten München Hauptbahnhof – München Moosach gewählt, um die S-Bahn mit der Straßenbahn vergleichen zu können. Der Fahrzeitunterschied zwischen der U-Bahn U3 und der S-Bahn S1 wird an der Strecke München Marienplatz – München Moosach verglichen. Um einen Vergleich zwischen einer U-Bahn und einer Straßenbahn durchführen zu können, wird die Strecke München Westfriedhof – München Hauptbahnhof analysiert.

Der Fahrzeitvergleich in Paris ist interessant, da die U-Bahn teilweise mit Reifen aus Gummi ausgeführt wird und dadurch nur Höchstgeschwindigkeiten von 55 km/h möglich sind. Auf der Strecke von Paris Nation nach Paris Châtelet les Halles wurde zur Entlastung der U-Bahn Linie 1 eine Schnellbahnstrecke erbaut, welche eine wesentlich kürzere Fahrzeit ausweist. Durch die wenigen Stationshalte wird eine hohe Durchschnittsgeschwindigkeit erreicht.

In Mailand werden die U-Bahn M3 und die S-Bahn S1 zwischen Rogoredo und Repubblica verglichen, sowie die Straßenbahn 2 mit der U-Bahn M2 an der Strecke Porta Genova mit Lanza Brera.

## 1.2 Forschungsfragen

In dieser Arbeit werden folgende Forschungsfragen analysiert:

- Welche Faktoren tragen dazu bei, dass sich ein Verkehrsmittel in der Fahrzeit zu anderen Verkehrsmittelarten auf der gleichen Route unterscheidet?
- Wie gestaltet sich die Fahrdynamik, Fahrzeitenberechnung und Fahrplangestaltung eines Verkehrsmittels im Vergleich zu anderen innerstädtischen Verkehrsmitteln?
- Welches Schienenverkehrsmittel soll beim Ausbau einer neuen Verbindungsstrecke bevorzugt werden und warum?
- Wenn eine S-Bahn bei 10 Stationen hält, wieviel Stationen müsste eine U-Bahn fahren, damit diese langsamer ist?
- Ist die U-Bahn beim Ausbau der Strecke nach Klosterneuburg schneller als die S-Bahn?

## 2 Grundlagen und Theorie

### 2.1 Definition: U-Bahn

Eine U-Bahn ist ein Verkehrssystem des öffentlichen Personennahverkehrs, das auf eigenständigen, kreuzungsfreien Verkehrswegen verkehrt und unabhängig von anderen Verkehrssystemen ist. Grundsätzlich werden U-Bahnen unterirdisch geführt, obwohl viele Teilstrecken auch oberirdisch ausgeführt werden. U-Bahnen erreichen in Wien, München und Mailand eine Geschwindigkeit von 80 km/h. Grundsätzlich sind höhere Geschwindigkeiten bei U-Bahnen möglich. Durch ein dichtes Streckennetz, einen homogenen Betrieb und schnelle Fahrgastwechselzeiten an den Haltestellen haben U-Bahnen eine hohe Leistungsfähigkeit. Bei elektrifizierten U-Bahn-Systemen bekommt das Fahrzeug die Stromzuführung durch eine seitlich am Gleis angeordnete Stromschiene oder durch eine Oberleitung. Die Wiener U-Bahnlinien U1, U2, U3 und U4 werden in einer Stromschiene elektrifiziert, die Linie U6 mit einer Oberleitung. [5, Seite 12] Es gibt noch wenige mit fossilen Brennstoffen angetriebene U-Bahnfahrzeuge, wie zum Beispiel das Diesellok Modell 8903 in München, das als Reservefahrzeug eingesetzt werden kann. [4] Die meisten U-Bahnen werden nicht mit dem restlichen Eisenbahnnetz verknüpft, dadurch gibt es im U-Bahn-Netz einen Linienbetrieb. Das am aktuellsten erschienene Fahrzeugmodell in Wien ist das Modell „Type X“. Durch eine hohe Anfahrbeschleunigung von  $1,2 \text{ m/s}^2$  und eine hohe Bremsbeschleunigung von  $1,4 \text{ m/s}^2$  erreicht die U-Bahn eine hohe Durchschnittsgeschwindigkeit. [6] An den untersuchten Streckenabschnitten beträgt diese 30,85 km/h, wie in Tab. 4 ersichtlich ist. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) definiert eine U-Bahn als schienengebundenes, vom Individualverkehr völlig getrennt geführtes Massenverkehrsmittel, das ein geschlossenes System bildet. [7]

## 2.2 Definition S-Bahn

Unter einer S-Bahn wird ein schienengebundenes Verkehrssystem bezeichnet, welches in Ballungszentren verkehrt. Im Gegensatz zu anderen Eisenbahnverkehrssystemen zeichnet sich eine S-Bahn durch einen dichten Fahrplan, große Personenkapazitäten und geringe Haltestellenabstände aus. S-Bahnen werden häufig mit dem übrigen Eisenbahnnetz verknüpft. Deshalb werden sie mit dem in Österreich üblichen Stromnetz 15 kV AC, 16,7 Hz elektrifiziert. Als Gegenbeispiel dient das S-Bahn-Netz in Berlin, welches nicht verknüpft ist. [36]. Um eine hohe Personenanzahl befördern zu können, fahren S-Bahnen in einer dichten Taktfolge. [8]. S-Bahnen sind ein wichtiges Verkehrsmittel für den Stadt-Umland-Verkehr, deshalb sind sie sehr essenziell für Bewohner angrenzender Bezirke einer Stadt. Auf Grund der hohen Mobilitätsnachfrage ist ein Ausbau des Wiener S-Bahn-Netzes erforderlich. Außerdem ist eine Verknüpfung der U-Bahn und S-Bahn-Netzes wichtig, um die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs zu verstärken. Der Fahrplan der S-Bahn in Wien weist teilweise hohe Taktlücken und unregelmäßige Ankunftszeiten auf. [9]

Ein typisches Fahrzeugmodell einer S-Bahn in Wien ist der „Desiro ML ÖBB Cityjet 4746“. Die maximale Anfahrbeschleunigung liegt bei  $1,1 \text{ m/s}^2$  und erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h. Auf Grund der geringen Haltestellenabstände und engen Trassierungsbögen beträgt die Höchstgeschwindigkeit in den innerstädtischen Bereichen in den analysierten Städten Wien, Paris, München und Mailand höchstens 80 km/h. [10]. Auf der Stammstrecke in Wien, das ist die Strecke zwischen Floridsdorf und Meidling, verkehrt die S-Bahn im Regelbetrieb alle drei bis neun Minuten. Ein regelmäßig getakteter Fahrplan ist durch den Einfluss der Zulaufstrecken nicht möglich. Die Wartezeiten erhöhen sich deshalb im Gegensatz zur U-Bahn. [33]. Durch die Linienüberlagerung im urbanen Bereich gibt es eine betriebliche Abhängigkeit und Verknüpfung und das Fahrplanangebot weist teilweise große Taktlücken auf. [37]

Verwendete S-Bahn Modelle in Wien sind:

- ÖBB 4020
- ÖBB Cityshuttle - Wendezug mit Triebfahrzeug (CRD)
- ÖBB Viaggio Twin - Wendezug mit Triebfahrzeug (Doppelstock)
- ÖBB 4746 - Desiro Cityjet

Die wesentlichen Unterschiede sind die Höchstgeschwindigkeit, Sitzplätze, Garnituren Zusammenstellung, Barrierefreiheit und Eingangsbereiche [34]

## 2.3 Definition Straßenbahn

Eine Straßenbahn ist ein im Straßenraum schienengebundenes Verkehrsmittel, das hauptsächlich zur Beförderung von Personen dient. Straßenbahnen werden gemäß der Straßenbahn in straßenabhängige und straßenunabhängige Bahnen unterschieden. Selbstständige Gleiskörper werden als von der Fahrbahn baulich getrennte Einrichtungen definiert. An Strecken mit abhängigen Bahnkörpern gilt die Straßenverkehrsordnung, die im Wiener Verkehrsraum eine Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h erlaubt bei straßenabhängigen Bahnen. In Österreich wird die Straßenbahn als Verkehrsmittel in der Straßenbahnverordnung 1999 (StrabVO) geregelt. [38] Straßenunabhängige Bahnen reduzieren die Abhängigkeit zu anderen Verkehrsmitteln. [11] Ein wesentlicher Unterschied zu anderen schienengebundenen Fahrzeugen ist, dass eine Straßenbahn auf Sicht fährt. Das bedeutet, dass der/die Straßenbahnführer/in den Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern/innen selbstständig einhält. Da sich Straßenbahnen den Straßenraum mit anderen Straßenverkehrsteilnehmern/innen teilen, unterliegt der Einsatz einer hohen Beeinflussung durch andere Verkehrsteilnehmer/innen. In Wien hat die Straßenbahn nur einen Führerstand, deshalb ist an den Endstationen eine Wendeschleife notwendig. Es sind auch Ausführungen von Straßenbahnen mit zwei Führerständen möglich. Im Gegensatz zu der Eisenbahn sind bei Straßenbahnen häufiger Flachkreuzungen angeordnet und linksgerichtete Abzweigungen werden unterschiedlich dimensioniert. Aufgrund des Einrichtungsbetrieb sind keine Überleitstellen zu

dem Gleis der Gegenfahrtrichtung möglich. Eine Straßenbahn hat eine automatisierte Fahrzeugsteuerung und moderne Weichensignale, die durch die Fahrsignalsteuerung gesteuert werden. [12] Um den Einfluss von anderen Verkehrsteilnehmern/innen zu vermindern, können Straßenbahnen mit Hilfe einer Signalbevorrechtigung an Verkehrslichtsignalanlagen priorisiert werden. Dadurch werden die Wartezeiten an Lichtsignalanlagen für den öffentlichen Personennahverkehr verringert. Die Verkehrssignallichtanlagen erkennen die Detektoren der Straßenbahn und verlängern die Grünzeiten bzw. reihen den öffentlichen Verkehr anderen Verkehrsteilnehmern/innen vor. Das hat für den Individualverkehr den Vorteil, dass in der Zeit, in der kein öffentliche Verkehrsmittel verkehrt, die Lichtsignalanlagen nicht für diese geschaltet werden müssen. [13]

## **2.4 Einfluss des Zugbeeinflussungssystems auf die Verkehrsmittel**

### **2.4.1 Punktförmiges Zugbeeinflussungssystem (PZB)**

Bei dem PZB handelt es sich um ein Zugbeeinflussungssystem, welches ein Fehlverhalten des/der Triebfahrzeugführers/in erkennt und in Form einer Zwangsbremmung beheben kann. Durch dieses System wird die Fahrt im festen Raumabstand gesichert und bei einem unsachgemäßen Fahr- und Bremsverhalten kann der Zug vor einem Gefahrenpunkt oder einer geschwindigkeitsmindernden Signalisierung selbstständig halten. [28] Wenn ein Zug über ein Vorsignal fährt, welches ihm ankündigt, dass eine erwartete Langsamfahrt oder ein zu erwartender Halt vor einem Hauptsignal bevorsteht, so muss der/die Triebfahrzeugführer/in bestätigen, dass er dieses Signal wahrgenommen hat. Falls keine Aktion von ihm folgt, veranlasst die durch Induktion gesteuerte Sicherungstechnik eine Zwangsbremmung. Bei Bestätigung, dass das Signal wahrgenommen wurde, beginnt eine Überwachungszeit, in der eine gewisse Geschwindigkeit unterschritten werden muss.

Eine wesentliche Problematik für Leistungsfähigkeit im Betriebsprogramm ist das Umschalten auf die restriktive Geschwindigkeitsüberwachung. Nachdem sich ein Zug mehr als 15 Sekunden unter der Umschaltgeschwindigkeit befindet, schaltet das System von der normalen Überwachungskurve auf eine restriktive Geschwindigkeitsüberwachung, welche 45 km/h beträgt. Erst nach Erlöschen der 1000 Hz Meldelampe kann sich der Triebfahrzeugführer aus der Geschwindigkeitsüberwachung befreien. [39] Im Fall, dass das Verkehrsmittel zwischendurch anhält, greift eine Überwachung ein, die verhindert, dass der Zug danach nicht mehr zu stark beschleunigen kann. Die Maximalgeschwindigkeit liegt in diesem Fall zwischen 25-45 km/h. [29].

Auf der Internetseite „<https://www.openrailwaymap.org/>“ kann eingesehen werden, welches Sicherungssystem auf analysierten Fahrstrecken verwendet wird. Die PZB wird in Wien an der S-Bahn-Strecke Wien Floridsdorf nach Wien Meidling und an der Strecke Wien Heiligenstadt nach Wien Hütteldorf verwendet. Ebenso kommt das Zugbeeinflussungssystem bei der Wiener U-Bahn-Linie U6 zum Einsatz. In Paris wird das Zugbeeinflussungssystem „KVB – Controle de Vitesse par Balises“ eingesetzt, welches eine nationale Version des PZB darstellt.

### **2.4.2 Linienförmiges Zugbeeinflussungssystem (LZB)**

Das LZB dient der permanenten Überwachung der Geschwindigkeit eines Zuges. Es soll verhindert werden, dass die zulässige Geschwindigkeit eines Zuges überschritten wird. Weiters dient dieses System dazu, dass der/die Triebfahrzeugführer/in über die Geschwindigkeit und Signale früh informiert wird. An der Strecke werden Linienleiter verlegt, welche sich in regelmäßigen Abständen kreuzen. Diese kreuzen sich in Wien alle 100 Meter und dienen zur Lokalisierung des Zuges. Durch die Fahrzeugantenne werden diese Informationen aufgenommen, da zwischen Linienleitern und der Antenne eine induktive Kupplung existiert. [30].

Die LZB wird bei der S-Bahn-Strecke in München angewandt, um geringe Zugfolgezeiten von 90 Sekunden erreichen zu können. [31, Seite 202]

Die U-Bahn in Wien und München ist mit LZB ausgerüstet und ermöglicht eine automatische Fahrt, bei der der/die Fahrer/in ausschließlich eine Überwachungsfunktion ausführt. Bei den U4

Endstationen Heiligenstadt und Hütteldorf gibt es eine automatische Wendeanlage, die fahrerlos erfolgt. [32, Seite 203] Die Funktionsweise dieser fahrerlosen Wendeanlage ist, dass der/die Triebzugsführer/in den Zug verlässt und am Bahnsteig eine Befehlstaste drückt, die den Zug den Befehl für eine Weiterfahrt mit einer fahrerlosen Zugsicherungstechnik gibt. [40] In Paris ist bei mehreren U-Bahn-Linien ein fahrerloser Betrieb möglich, dadurch wird der Zug automatisch durch ein linienförmiges Zugbeeinflussungssystem geregelt. [41]

### 3 Methodik

Um einen Vergleich der einzelnen Verkehrsmittel machen zu können, muss definiert werden, wie sich die Fahrzeit zusammensetzt. Die Analyse der einzelnen Parameter ist wichtig, um einen Fahrplan erstellen zu können, nach dem Züge fahren. Es sind folgende Angaben notwendig, um einen Fahrplan zu erstellen:[14]

- Laufweg des Zuges, Distanz,
- Ankunfts-, Abfahrts- und Durchfahrzeiten auf den Betriebsstellen,
- zulässige Geschwindigkeit in den einzelnen Abschnitten des Laufwegs.

Die Fahrzeit wird in zwei Hauptteile unterteilt. Der erste Teil umfasst die reine Fahrzeit, also die Dauer, die ein Zug vom Beginn des Anfahrens bis zum vollständigen Stillstand braucht.

Die Fahrmodi werden in vier Teile gegliedert. Diese Teile sind die Beschleunigung, Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsung. [15]

Wesentliche Einflussfaktoren sind die Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerte der einzelnen Verkehrsmittel.

Typische Werte der drei Verkehrsmittel werden in der Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerte [22 (Seite 287)] [23]

Verkehrsmittel	Beschleunigungswert [ $\text{m/s}^2$ ]	Bremsverzögerung [ $-\text{m/s}^2$ ]
U-Bahn	1,2	1,4
S-Bahn	0,6-1,1	0,75-1,0
Straßenbahn	0,3-0,75	0,75-1,0

Die Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerte sind abhängig vom Fahrzeugmodell. Deshalb ist eine hohe Schwankungsbreite möglich. Das Fahrzeugmodell „Typ ET 423“ der S-Bahn in München erreicht einen Beschleunigungswert von  $0,9 \text{ m/s}^2$  und einen Bremsverzögerungswert von  $1,0 \text{ m/s}^2$ . Durch die besseren technischen Eigenschaften hat die Münchner S-Bahn geringere Beschleunigungs- und Bremszeiten als die S-Bahn in Wien. Auf der Strecke München Marienplatz nach München Moosach kann eine Höchstgeschwindigkeit von  $140 \text{ km/h}$  schnell erreicht werden. Im S-Bahn-Netz der ÖBB variiert dieser Wert stärker. Das ältere Vorgängermodell ÖBB 4020 erreicht nur Beschleunigungswerte von  $0,7 \text{ m/s}^2$ , wobei das aktuelle Modell „ÖBB Desiro Mainline Cityjet Baureihe 4746“ einen Wert von  $1,1 \text{ m/s}^2$  erreicht.

Aufgrund der geringen Stationsabstände und geringen Bogenradien ist bei S-Bahnen das Erreichen einer maximalen Endgeschwindigkeit im innerstädtischen Bereich nicht immer möglich.

Straßenbahnen dürfen bezüglich der Straßenverkehrsordnung auf straßenabhängigen Bahnen höchstens  $50 \text{ km/h}$  fahren und bei selbständigen Gleiskörpern  $60 \text{ km/h}$ . Die zulässigen Geschwindigkeiten für einzelne Streckenabschnitte ergeben sich aus den für den Bau und Betrieb erforderlichen Genehmigungen. Die zulässigen Beschleunigungswerte der Wiener Straßenbahn werden in der StrabVO in der Tabelle 1 [38] geregelt und sind abhängig von der Geschwindigkeit.

U-Bahnen erreichen eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Die genauen maximalen Höchstgeschwindigkeiten der spezifischen Strecken können auf der Website [www.openrailwaymap.org] ausgelesen werden.

Der zweite Hauptteil umfasst die Zeit, die durch den Halt in den Stationen und den Fahrgastwechsel benötigt wird, das ist die Zeit zwischen der Ankunfts- und Abfahrzeit. Die Haltezeiten der einzelnen Verkehrsmittel variieren sehr stark. An den untersuchten Strecken ist ersichtlich, dass die S-Bahn weniger Stationshalte aufweist als eine U-Bahn oder eine Straßenbahn. Die durchschnittlichen Haltezeiten sind in den vier untersuchten Städten unterschiedlich. Mit Hilfe von YouTube-Videos von „Führerstandsmitfahrten“ werden mehr Zeitdaten gesammelt. Die Haltezeiten von U-Bahnen sind abhängig vom Fahrgaststrom. Die Werte schwanken zwischen 17 Sekunden und 33 Sekunden in den vier untersuchten Städten. S-Bahnen haben dagegen einen hohen Schwankungsbereich. Dieser liegt zwischen 23 Sekunden in München und 80 Sekunden am Praterstern in Wien. Diese lange Wartezeit lässt sich zu einem Teil aufgrund der Abhängigkeit des Fahrplanes begründen, aber auch an den Fahrzeugmodellen, die teilweise nicht barrierefrei zugänglich sind. In Paris und Mailand liegen die Werte zwischen 30 und 40 Sekunden. Die Haltezeit der Straßenbahn hängt sowohl vom Fahrgastwechsel als auch von Verkehrslichtsignalanlagen ab. Dadurch, dass sie von anderen Verkehrsteilnehmern/Innen abhängig sind, schwankt die Haltezeit zwischen 10 und 20 Sekunden.

Um für weitere Berechnungen gleiche Zeitwerte heranziehen werden in Tab. 2 durchschnittliche Haltezeiten zusammengefasst.

Tab. 2: Durchschnittliche Haltezeiten [19] [20]

Verkehrsmittel	Wertebereich der Haltezeit [Sekunden]
U-Bahn	20-40
S-Bahn	30-80
Straßenbahn	10-20

Ein wesentlicher Anteil der gesamten Haltezeit ist die Fahrgastwechselzeit. Sie wird auch als Haltezeit mit geöffneten Türen bezeichnet. Die Fahrgastwechselzeit ist von drei Haupteinflussfaktoren abhängig (Zug, Fahrgast, Bahnsteig). In der U-Bahn können diese zwischen 20 und 40 Sekunden schwanken [19, Seite 76]. Zur Vereinfachung wird ein Mittelwert angenommen. S-Bahnen haben längere Haltezeitanteile. Das ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass die Türbereiche der S-Bahn nicht vollständig barrierefrei sind und die Innenräume nicht optimal gestaltet wurden. Durchschnittlich liegt die Gesamthaltezeit der S-Bahn bei ca. 45 Sekunden. [20, Seite 35] Die Fahrgastwechselzeit ist von der Anzahl der ein- und aussteigenden Personen abhängig. Bei Straßenbahnen ist die Abhängigkeit der aussteigenden Passagiere bezogen auf die Haltezeit viel größer, da es keine einheitlichen Bahnsteige gibt, auf denen die Personen aussteigen können. Verglichen mit der U-Bahn und S-Bahn gibt es ein geringes Fahrgastwechsellaufkommen pro Station. In der nachfolgenden Abbildung Abb. 2 ist die Abhängigkeit von der Anzahl der Aussteigenden und der Ausstiegszeit mit einem Graphen und einer Trendlinie abgebildet. Es wird in dieser Grafik gezeigt, dass die Einflüsse „Zeit“ und „Anzahl der Aussteigenden“ einen regressiven Verlauf haben. [21, Seite. 69]

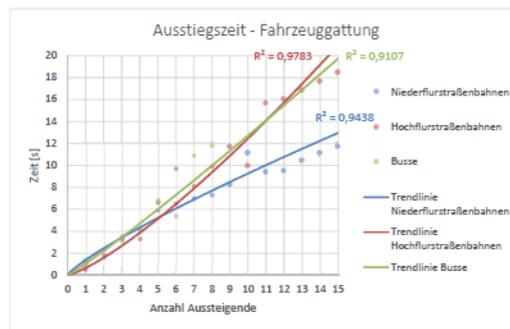


Abb. 2: Ausstiegszeiten Straßenbahn [21, Seite 69]

Die Haltezeit eines schienengebundenen öffentlichen Verkehrsmittels teilt sich in die angeführten Zeitanteile in Abb. 3 auf. Diese Zusammensetzung ist in der nachfolgenden Abbildung chronologisch aufgegliedert. Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass nicht nur die Fahrgastwechselzeit die Haltezeit beeinflusst, diese aber den am leichtesten zu verbesserndem Zeitwert hat.

Die Einflussgrößen der Haltezeiten werden in Abb. 3 in folgende Teile gegliedert. [21, Seite 13]

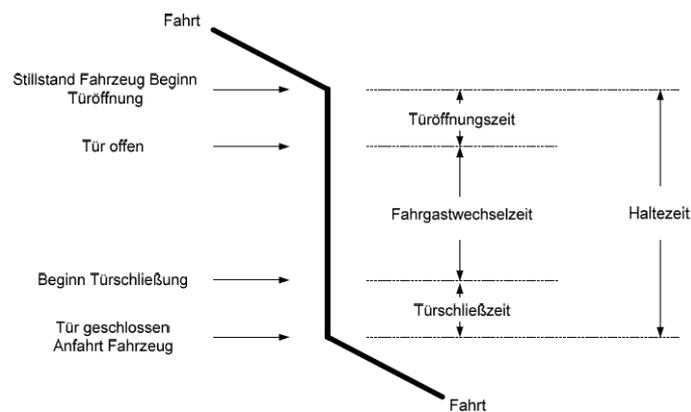


Abb. 3: Zeitanteile Haltezeit [21, Seite 13]

Folgende Faktoren wirken sich auf die Haltezeit aus. [16, Seite 75]

### Zug

- Türbreite
- Türanzahl
- Spaltabstand zum Bahnsteig
- Einstiegshöhe
- Innenraumdesign

### Fahrgäste

- Anzahl der Ein- und Aussteiger
- Anzahl der Reisenden mit Rollstuhl, Fahrrad und Kinderwagen
- Anzahl und Art des Gepäcks
- Alter und Gehgeschwindigkeit

### Bahnsteig

- Bahnsteighöhe
- Bahnsteigfläche
- Verteilung der Reisenden

### 3.1 Einfluss des Fahrplanes

Schienengebundene Fahrzeuge fahren nach einem Fahrplan. Es gibt somit eine zeitliche und örtliche Abhängigkeit des Fahrzeuges, damit es andere Fahrzeuge zeitlich nicht beeinflusst.

Wiener U-Bahnen verkehren nach einem Linienbetrieb und sind somit auch nur von anderen U-Bahnen derselben Linie abhängig. Damit es zu einem planmäßigen Verkehr ohne Unterbrechungen kommt, sind die Pufferzeiten abhängig von dem Blockabschnitt vorzusehen.

Eine S-Bahn ist an das Österreichische Bahnnetz gebunden und deshalb abhängig von Güterverkehr- und Personenverkehrszügen des Regional- und Fernverkehrs. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit von Verspätungen und Ausfällen viel höher.

Straßenbahnen werden von Verkehrssignalanlagen bevorzugt und sie sind von diversen Verkehrsteilnehmern/innen abhängig.

**Definition Zugfolgezeit:** Die Zugfolgezeit ist der Zeitabstand zwischen Abfahrt, Ankunft und Durchfahrt aufeinanderfolgender Züge. Sie wird an einem gleichen Ort gemessen. [17, Seite 29]

**Definition Pufferzeit:** Unter einer Pufferzeit wird eine Zeitspanne verstanden, um die eine Zugfahrt zeitlich verschoben werden kann, ohne eine weitere Zugfahrt zeitlich zu beeinflussen. [18]

### 3.2 Zusätzlich zu berücksichtigende Zeiten

Für den Fahrgast ist nicht nur die reine Fahrzeit eines Verkehrsmittels von Bedeutung, sondern auch die Fußgehwege und die mittlere Wartezeit. Die Gehwege werden bei allen Verbindungen zusätzlich addiert. Als Anfangs- und Endpunkt werden markante Punkte nahe dem Bahnhofsareal gewählt. Die Begründung der Wahl der einzelnen Anfangs- und Endpunkte wird im Kapitel 6 „Diskussion der Ergebnisse“ für jede Vergleichsstrecke begründet. Die mittleren Wartezeiten haben für die Wahl eines bestimmten Verkehrsmittels eine große Bedeutung. [42, Seite 22] Um einen Vergleich durchführen zu können, werden die durchschnittlichen Zugfolgezeiten um 8 Uhr morgens und um 10 Uhr abends erfasst. Die durchschnittliche Wartezeit ist der Mittelwert zwischen Null und der Zugfolgezeit. In Tab. 4: Analyse der Fahrzeitenvergleiche“ bezieht sich der letzte Vergleichspunkt „Durchschnittlicher Fahrzeitunterschied“ nur auf die Fahrzeit ohne Gehwege und Wartezeiten, um einen technischen Vergleich machen zu können. Die Kategorien „Schnellstes Verkehrsmittel“ und „Fahrzeitvergleich der Verkehrsmittel“ berücksichtigen die Gehwege und Wartezeiten.

### 3.3 Vergleichsstrecken

Anschließend werden folgende Verkehrsstrecken gewählt, um die unterschiedlichen Fahrzeitenunterschiede analysieren zu können

#### Verbindungen mit Straßenbahn, S-Bahn und U-Bahn

- Wien Hauptbahnhof – Wien Praterstern

#### Verbindungen mit S-Bahn und U-Bahn

- Wien Hütteldorf – Wien Heiligenstadt
- Wien Floridsdorf – Wien Meidling
- München Marienplatz – Moosach
- Mailand Rogoredo – Mailand Repubblica
- Paris Nation – Paris Charles de Gaulle Etoile
- Paris Gare Lyon – Paris Châtelet les Halles

**Verbindungen mit Straßenbahn und U-Bahn**

- München Westfriedhof – München Hauptbahnhof
- Mailand Porta Genova – Mailand Lanza Brera

**Verbindungen mit Straßenbahn und S-Bahn**

- München Hauptbahnhof – München Moosach

**3.4 Kennzahlen und Vergleichsparameter**

Wesentliche Kennzahlen sind die Durchschnittsgeschwindigkeit [km/h], die Höchstgeschwindigkeit [km/h], Haltezeit/Haltestationen [min bzw. km/Halt], die Distanz [km], die Dauer [min], Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung [ $m/s^2$ ]. Zur Ermittlung der vollständigen Transportzeit müssen auch die Fußwege mitberücksichtigt werden. Die Dauer dient dazu die Fahrzeiten vergleichen zu können. Die durchschnittliche Wartezeit ist bei der Berechnung der Fahrzeiten ebenfalls zu berücksichtigen. Die Distanz ist zu ermitteln, um Fahrzeiten aufgrund längerer Strecken begründen zu können und durchschnittliche Geschwindigkeiten zu berechnen.

**Fahrzeiten und Haltestationsanzahl**

Die absoluten Fahrzeiten von Wien werden mit der Internetseite „www.anachb.vor.at“ ermittelt. In München werden sie auf der Website „www.mvv-muenchen.de/fahrplanauskunft“ angezeigt. In Mailand kann die App „ATM Milano“ [43] verwendet werden und in Paris wurde „RATP“ [44] gewählt.

**Streckenlänge und Stationsabstände**

Die Stationsabstände bzw. die Gesamtstrecke des Ankunfts und Abfahrtsort werden mit „http://brouter.de/brouter-web/#map“ [45] ausgemessen.

**Maximale Geschwindigkeit**

Mit der Webpage [www.openrailwaymap.org](http://www.openrailwaymap.org) [46] können Höchstgeschwindigkeit, Signale und Sicherungssysteme, Elektrifizierung und die vorhandene Infrastruktur des gesamten weltweiten Bahnnetzes ausgelesen werden.

**Gehwege**

Da der zeitliche Faktor der Gehwege zu den Stationen von Straßenbahnen, S-Bahnen und U-Bahnen ein signifikanter Einfluss hat bei den zehn untersuchten Strecken, wird bei der Bruttozeit der Gehweg berücksichtigt. U-Bahnen und S-Bahnen haben oft ähnlich weite Gehwege. Straßenbahnhaltestellen sind bei den gewählten Strecken hingegen oft sehr nahe am Bahnhofsvorplatz und ergeben wesentlich geringere Gehzeiten.

Aus den ermittelten Grunddaten können dann folgende Kennzahlen berechnet werden.

- Durchschnittsgeschwindigkeit/ km/h
- Zeit pro Halt/ min/Halt
- Strecke pro Halt/ km/Halt

**4 Fahrzeitenvergleich**

Die Einheiten werden für alle zehn Vergleiche wie folgt angegeben:

In Minuten werden angegeben:

- Fahrzeit
- Gesamtfußweg
- Wartezeit
- Gesamtzeit

Die Distanz wird mit der Einheit „Kilometer“ angegeben und die Geschwindigkeiten  $V(\max)$  und  $V(\emptyset)$  werden in [km/h] berechnet. Die in den Grafiken ersichtlichen Fahrzeiten umfassen ausschließlich die reine Fahrzeit. Die Abbildungen Abb.4 bis Abb.10 wurden aus der Webpage „www.anachb.vor.at“ [47] gewählt. Für Abbildungen Abb. 11 bis Abb. 24 wurde www.google.com/maps [48] gewählt. Die Wahl der Anfangs- und Endpunkte der Gehwege werden im Kapitel 6. Diskussion beschrieben. Eine grafische Darstellung ist bezüglich der Übersichtlichkeit nicht sinnvoll.

#### 4.1 Fahrzeitenvergleich Wien Hauptbahnhof – Wien Praterstern



Abb. 4: Streckenverlauf U-Bahn: Wien Hauptbahnhof - Wien Praterstern

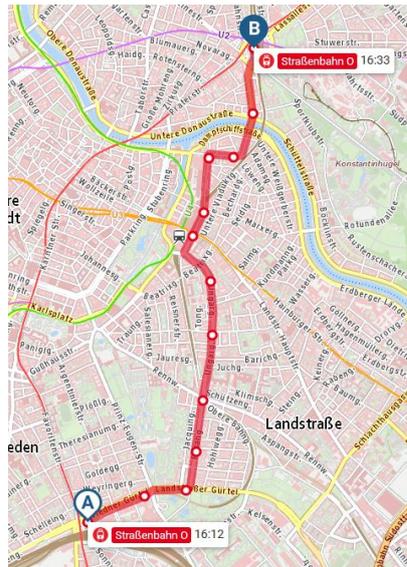


Abb. 5: Streckenverlauf Straßenbahn: Wien Hauptbahnhof - Wien Praterstern

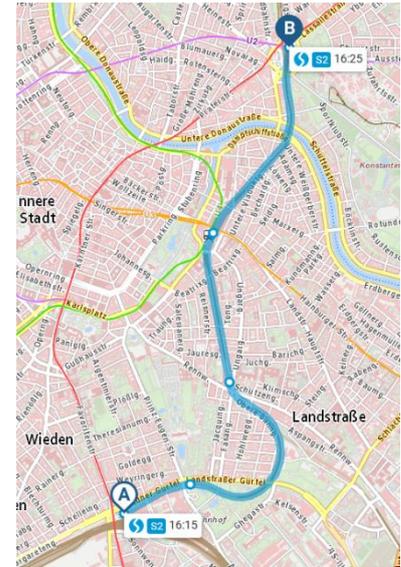


Abb. 6: Streckenverlauf S-Bahn: Wien Hauptbahnhof - Wien Praterstern

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/ min	Distanz/ km	$V_{\max}$ / km/h	$V(\emptyset)$ / km/h	Fahrzeit pro Halt/ min	$\emptyset$ Halte stellenabstand/ km
S-Bahn	S1, S2	4	10,0	5,2	70	31,2	2,5	1,3
U-Bahn	U1	6	9,0	4,5	80,0	30,0	1,5	0,8
Straßenbahn	0	12	21,0	4,6	50,0	13,1	1,8	0,4

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/ min	Gesamtfußweg/ min	Wartezeit/ min	Gesamtzeit/ min
S-Bahn	Vorplatz Hauptbahnhof	Vorplatz Praterstern	10	4	3,00	17,0
U-Bahn			9	9	2,25	20,3
Straßenbahn			21	1	3,75	25,8

4.2 Fahrzeitenvergleich Wien Floridsdorf – Wien Meidling



Abb. 7: Streckenverlauf U-Bahn: Wien Floridsdorf - Wien Meidling

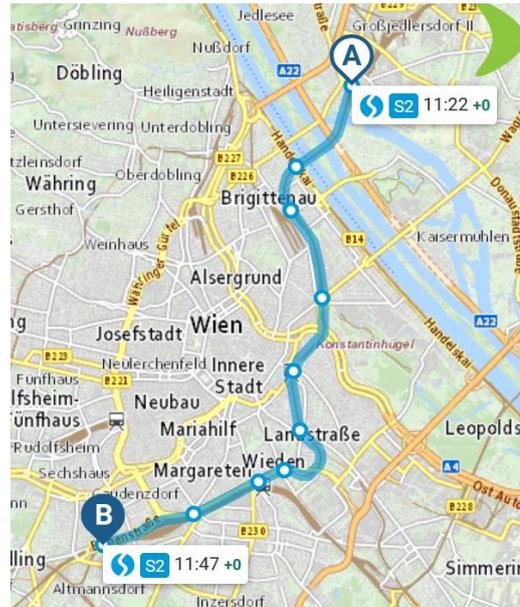


Abb. 8: Streckenverlauf S-Bahn: Wien Floridsdorf - Wien Meidling

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/ min	Distanz/ km	V <sub>max</sub> / km/h	V(∅)/ km/h	Fahrzeit pro Halt/ min	∅ Halte stellenab- stand/ km
S-Bahn	S2	9	25,0	13,3	40 - 90	31,9	2,8	1,5
U-Bahn	U6	17	25,0	12,1	80,0	29,0	1,5	0,7

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/ min	Gesamtfuß- weg/min	Warte- zeit/min	Gesamtzeit/ min
S-Bahn	Franz-Jo- nas-Platz	Ausgang Meidlinger Hauptstraße	25	7	3	35,0
U-Bahn		25	11	2,75	38,8	

## 4.3 Fahrzeitvergleich Wien Heiligenstadt – Wien Hütteldorf

Abb. 9: Streckenverlauf S-Bahn:  
Wien Heiligenstadt - Wien HütteldorfAbb. 10: Streckenverlauf U-Bahn  
Wien Heiligenstadt – Wien Hütteldorf

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/ min	Distanz/ km	$V_{max}$ / km/h	$V(\emptyset)$ / km/h	Fahrzeit pro Halt/ min	$\emptyset$ Halte stellenab- stand/ km
S-Bahn	S45	8	24,0	12,9	40 - 70	32,3	3,0	1,6
U-Bahn	U4	19	32,0	16,5	80,0	30,9	1,7	0,9

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/ min	Gesamtfuß- weg/ min	Warte- zeit/ min	Gesamtzeit/ min
S-Bahn	12. Februar Platz	Ausgang Hütteldorf	24	2	6,25	32,3
U-Bahn		(Stadion)	32	2	2,5	36,5

4.4 Fahrzeitvergleich München Marienplatz – München Moosach

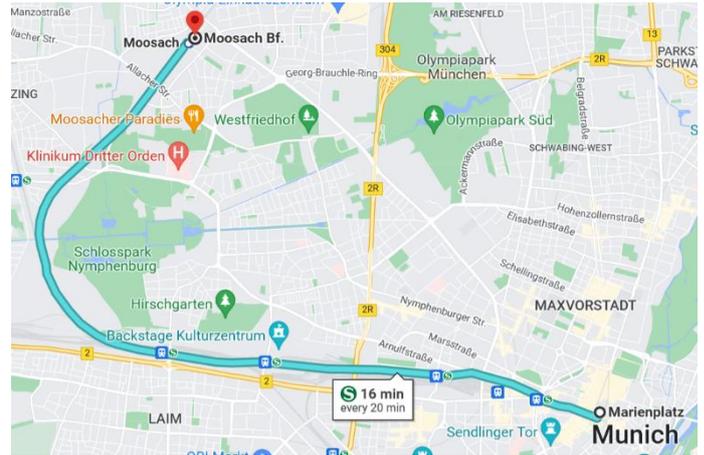
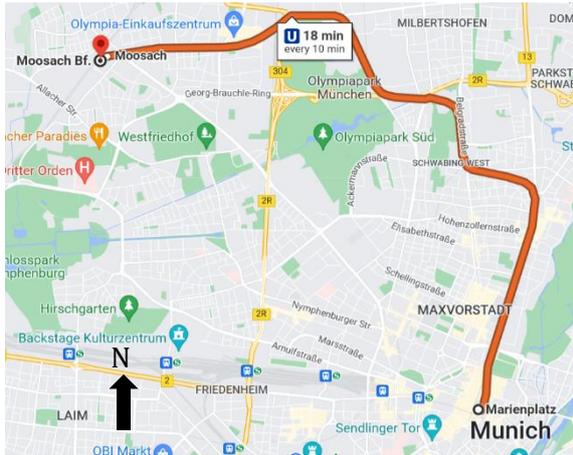


Abb. 11: Streckenverlauf U-Bahn: München Marienplatz – München Moosach

Abb. 12: Streckenverlauf S-Bahn: München Marienplatz - München Moosach

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/min	Distanz/km	V <sub>max</sub> /km/h	V(Ø)/km/h	Fahrzeit pro Halt/min	Ø Haltestellenabstand/km
S-Bahn	S1	7	16,0	11,0	140,0	41,3	2,3	1,6
U-Bahn	U3	12	18,0	10,5	80,0	35,0	1,5	0,9

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/min	Gesamtfußweg/min	Wartezeit/min	Gesamtzeit/min
S-Bahn	Marienplatz	Moosach	16	2	10	28,0
U-Bahn			18	2	5	25,0

4.5 Fahrzeitvergleich München Westfriedhof – München Hauptbahnhof

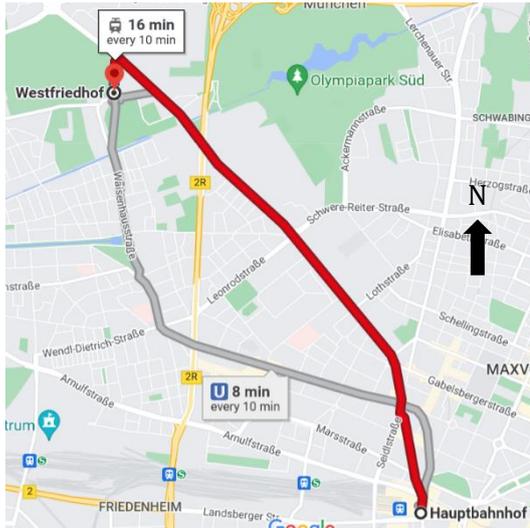


Abb. 13: Streckenverlauf Straßenbahn: München Westfriedhof - München Hauptbahnhof

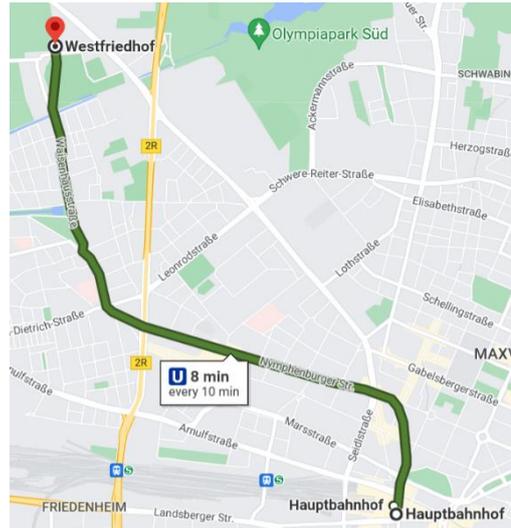


Abb. 14: Streckenverlauf U-Bahn: München Westfriedhof - München Hauptbahnhof

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/min	Distanz/km	V <sub>max</sub> /km/h	V(Ø)/km/h	Fahrzeit pro Halt/min	Ø Haltestellenabstand/km
U-Bahn	U7	5	11,0	4,9	80,0	26,7	2,2	1,0
Straßenbahn	18	8	16,0	4,4	50,0	16,5	2,0	0,6

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/min	Gesamtfußweg/min	Wartezeit/min	Gesamtzeit/min
U-Bahn	Westfriedhof	Vorplatz Hauptbahnhof	11	3	5	19,0
Straßenbahn			16	4	5	25,0

4.6 Fahrzeitvergleich München Moosach – München Hauptbahnhof

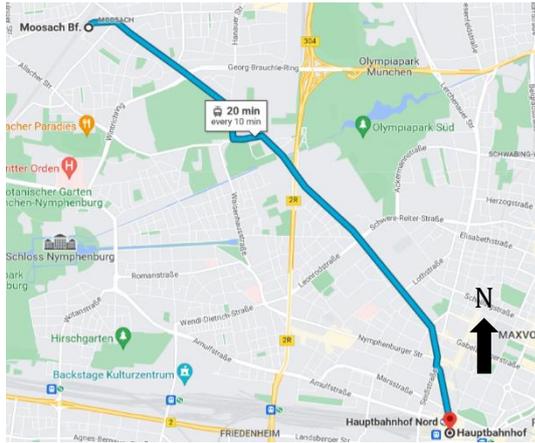


Abb. 16: Streckenverlauf Straßenbahn: München Hauptbahnhof – München Moosach

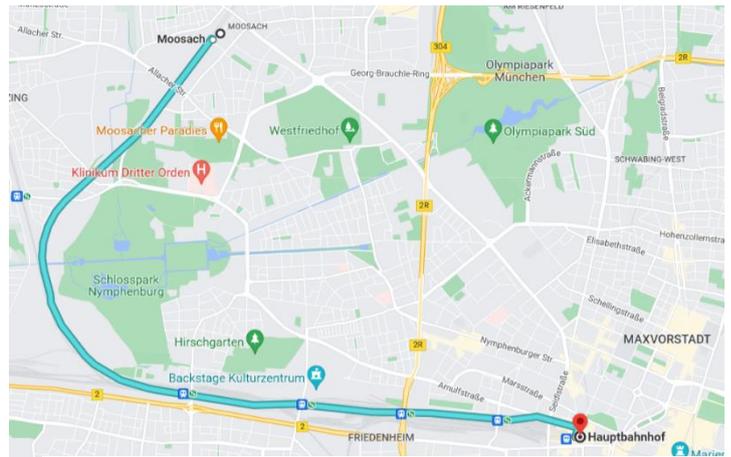


Abb. 15: Streckenverlauf S-Bahn: München Hauptbahnhof - München Moosach

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/min	Distanz/km	V <sub>max</sub> /km/h	V(Ø)/km/h	Fahrzeit pro Halt/min	Ø Halte stellenabstand/km
S-Bahn	S1	5	12,0	9,4	140,0	47,0	2,4	1,9
Straßenbahn	20	15	19,0	6,5	50	20,5	1,3	0,4

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/min	Gesamtfußweg/min	Wartezeit/min	Gesamtzeit/min
S-Bahn	Moosach	Vorplatz	12	3	10	25,0
Straßenbahn	Bahnhof	Hauptbahnhof	19	1	5	25,0

## 4.7 Fahrzeitvergleich Mailand Rogoredo – Mailand Repubblica

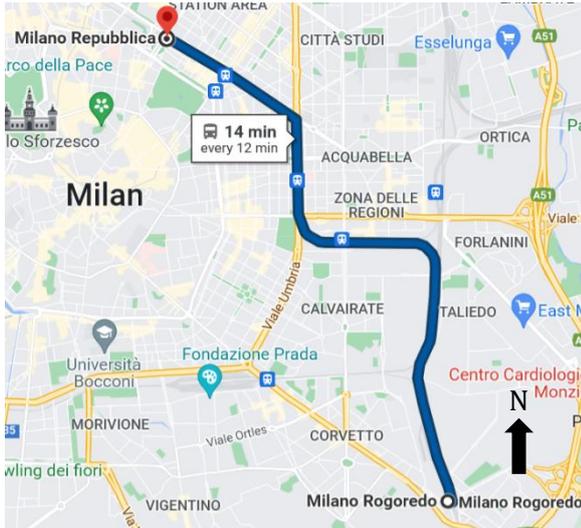


Abb. 17: Streckenverlauf S-Bahn:  
Mailand Rogorredo - Mailand Repubblica

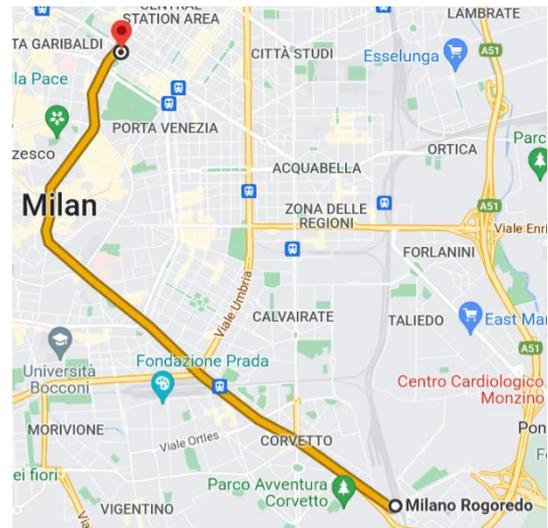


Abb. 18: Streckenverlauf U-Bahn:  
Mailand Rogorredo - Mailand Repubblica

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/ min	Distanz/ km	$V_{max}$ / km/h	$V(\emptyset)$ / km/h	Fahrzeit pro Halt/ min	$\emptyset$ Halte stellenab- stand/ km
S-Bahn/Subur- bano	S1	4	14,0	7,3	60	31,3	3,5	1,8
U-Bahn	M3	11	15,0	7,2	80	28,8	1,4	0,7

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/ min	Gesamtfuß- weg/ min	Warte- zeit/ min	Gesamtzeit/ min
S-Bahn	Piazza della Repubblica	Ausg. Via Rogoredo	14	2	5,25	21,3
U-Bahn			15	2	3,75	20,8

4.8 Mailand Porta Genova – Mailand Lanza Brera



Abb. 19: Streckenverlauf Straßenbahn: Mailand Porta Genova - Mailand Lanza Brera

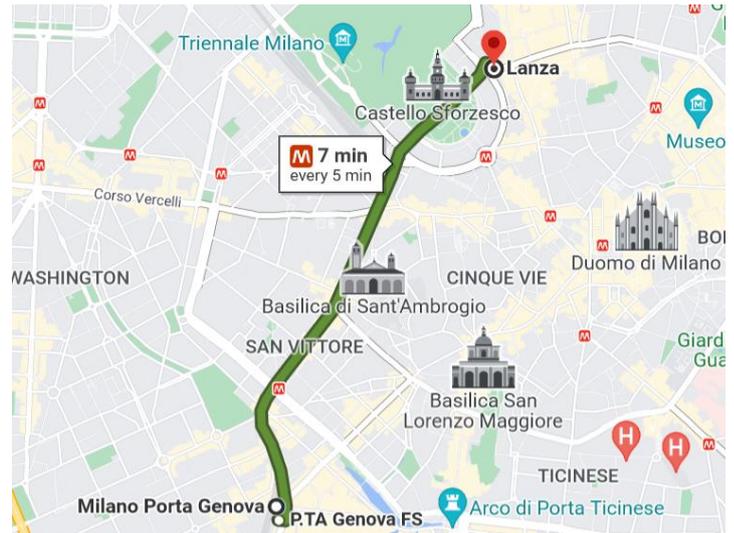


Abb. 20: Streckenverlauf U-Bahn: Mailand Porta Genova - Mailand Lanza Brera

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/ min	Distanz/ km	V <sub>max</sub> / km/h	V(Ø)/ km/h	Fahrzeit pro Halt/ min	Ø Halte stellenabstand/ km
U-Bahn	M2	4,0	7,0	2,4	80	20,6	1,8	0,6
Straßenbahn	2	10,0	22,0	3,0	50	8,2	2,2	0,3

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/ min	Gesamtfußweg/ min	Wartezeit/ min	Gesamtzeit/ min
U-Bahn	Porta Genova	Lanza Brera	7	2	3,25	12,3
Straßenbahn			22	1	6	29,0

## 4.9 Fahrzeitvergleich Paris Nation – Paris Charles de Gaulle Étoile

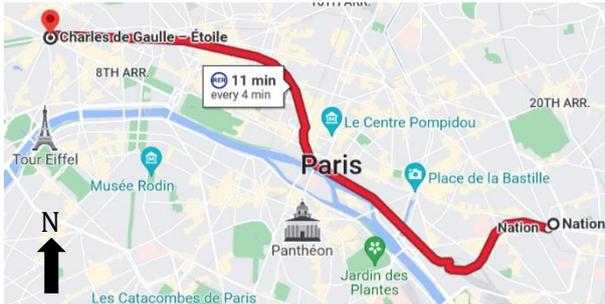


Abb. 22: Streckenverlauf S-Bahn: Paris Nation - Paris Charles de Gaulle Etoile

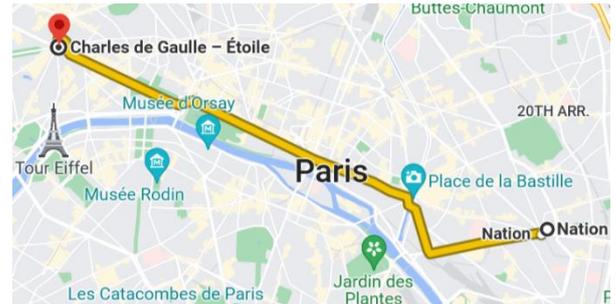


Abb. 21: Streckenverlauf U-Bahn: Paris Nation - Paris Charles de Gaulle Etoile

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/ min	Distanz/ km	$V_{\max}$ / km/h	$V(\emptyset)$ / km/h	Fahrzeit pro Halt/ min	$\emptyset$ Halte stellenab- stand/ km
S-Bahn	A	4,0	11,0	9,4	80,0	51,3	2,8	2,4
U-Bahn	1	14,0	21,0	8,6	55,0	24,6	1,5	0,6

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/ min	Gesamtfuß- weg/min	Warte- zeit/min	Gesamtzeit/ min
S-Bahn	Place de Nation	Arc de Triomphe	11	1	2,5	14,5
U-Bahn			21	1	1,75	23,8

4.10 Paris Gare Lyon – Paris Châtelet les Halles

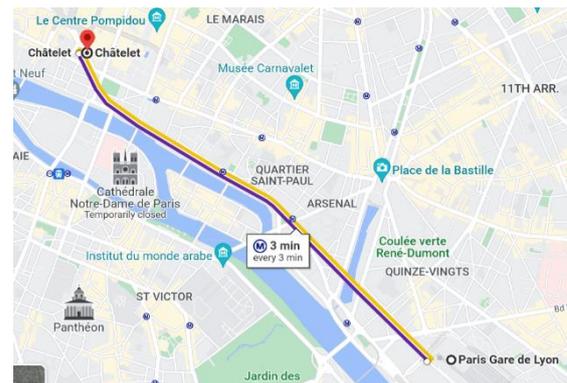
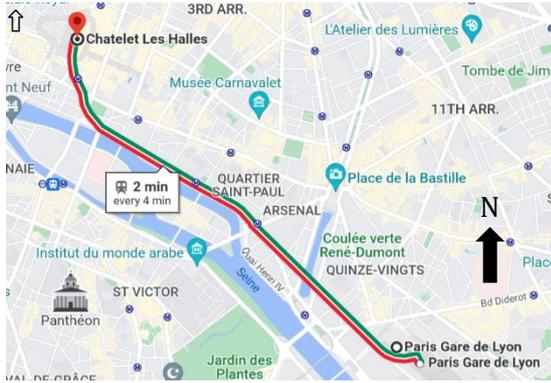


Abb. 23: Streckenverlauf U-Bahn: Paris Gare Lyon - Paris Chatelet

Abb. 24: Streckenverlauf S-Bahn: Paris Gare Lyon - Paris Chatelet

Verkehrsmittel	Linie	Halte	Zeit/min	Distanz/km	V <sub>max</sub> /km/h	V(Ø)/km/h	Fahrzeit pro Halt/min	Ø Haltestellenabstand/km
S-Bahn	A / D	1,0	4,0	3,1	80,0	46,5	4,0	3,1
U-Bahn	14	1,0	3,0	2,6	55,0	52,0	3,0	2,6

Verkehrsmittel	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeit/min	Gesamtfußweg/min	Wartezeit/min	Gesamtzeit/min
S-Bahn	Bahnhofsvorplatz	Fontaine des Innocents	4	3	3	10,0
U-Bahn			3	3	1,5	7,5

## 4.11 Fahrzeitvergleich auf Beispielstrecke

### 4.11.1 Abhängigkeit der Stationshalte bei S-Bahn und U-Bahn

Wenn eine S-Bahn bei 10 Stationen hält, wieviel Stationen müsste eine U-Bahn fahren, damit diese langsamer als eine S-Bahn ist? Als Vergleichsstrecke wird für beide Transportmittel 1000 Meter gewählt. Durch die besseren Fahrdynamische Eigenschaften und die kürzeren Haltezeiten ist die Fahrzeit der U-Bahn geringer. Der einzige zeittechnische Nachteil der U-Bahn ist, dass sie mehr Stationshalte als die S-Bahn aufweist. Der Einfluss der Stationshalte wird in der folgenden Berechnung analysiert.

Beschleunigung U-Bahn

$$t_{anf,beschl} = \frac{v_2 - v_1}{a_{anf,beschl}} \quad (1)$$

$$t_{anf,beschl} = \frac{80/3,6 - 0}{1,2} \quad (2)$$

$$t_{anf,beschl} = 18,5 \text{ s} \quad (3)$$

$$s_{anf,beschl} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{a_{anf,beschl} \times 2} \quad (4)$$

$$s_{anf,beschl} = \frac{(80/3,6)^2 - 0}{1,2 \times 2} \quad (5)$$

$$s_{anf,beschl} = 205 \text{ m} \quad (6)$$

Bremsvorgang U-Bahn

$$t_{br} = \frac{v_2 - v_1}{a_{br}} \quad (7)$$

$$t_{br} = \frac{80/3,6 - 0}{1,4} \quad (8)$$

$$t_{br} = 15,9 \text{ s} \quad (9)$$

$$s_{br} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{a_{br} \times 2} \quad (10)$$

$$s_{br} = \frac{(80/3,6)^2 - 0}{1,4 \times 2} \quad (11)$$

$$s_{br} = 176 \text{ m} \quad (12)$$

$$\text{Strecke der Beharrungsfahrt: Gesamtstrecke} - s_{anf,beschl} - s_{br} = 619 \text{ m} \quad (13)$$

$$\text{Zeit der Beharrungsfahrt: } t = \frac{s}{v} = t = \frac{619}{80/3,6} = 27,9 \text{ s} \quad (14)$$

$$\text{Fahrzeit gesamt U-Bahn: } \quad \quad \quad \mathbf{62,3 \text{ s}}$$

Beschleunigung S-Bahn

$$t_{anf,beschl} = \frac{v_2 - v_1}{a_{anf,beschl}} \quad (15)$$

$$t_{anf,beschl} = \frac{80/3,6 - 0}{0,7} \quad (16)$$

$$t_{anf,beschl} = 31,7 \text{ s} \quad (17)$$

$$s_{anf,beschl} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{a_{anf,beschl} \times 2} \quad (18)$$

$$s_{anf,beschl} = \frac{(80/3,6)^2 - 0}{0,7 \times 2} \quad (19)$$

$$s_{anf,beschl} = 353 \text{ m} \quad (20)$$

Bremsvorgang S-Bahn

$$t_{br} = \frac{v_2 - v_1}{a_{br}} \quad (21)$$

$$t_{br} = \frac{80/3,6 - 0}{0,8} \quad (22)$$

$$t_{br} = 27,8 \text{ s} \quad (23)$$

$$s_{br} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{a_{br} \times 2} \quad (24)$$

$$s_{br} = \frac{(80/3,6)^2 - 0}{0,8 \times 2} \quad (25)$$

$$s_{br} = 308 \text{ m} \quad (26)$$

$$\text{Strecke der Beharrungsfahrt:} \quad 1000 \text{ m} - s_{anf,beschl} - s_{br} = 339 \text{ m} \quad (27)$$

$$\text{Zeit der Beharrungsfahrt:} \quad t = \frac{s}{v} = t = \frac{339}{80/3,6} = 15,3 \text{ Sekunden} \quad (28)$$

$$\text{Fahrzeit gesamt S-Bahn:} \quad 74,8 \text{ s} \quad (29)$$

Berechnung der benötigten Haltestellen, um eine gleiche Fahrzeit zu bekommen:

$$\text{Fahrzeit auf der Strecke (U - Bahn) + Haltezeit Bahnsteig (U - Bahn)} \times (10 + n) = \quad (30)$$

$$\text{Fahrzeit auf der Strecke (S - Bahn) + Haltezeit Bahnsteig (S - Bahn)} \times (10)$$

$$62,3 \text{ sek} + 30 \text{ sek} \times (10 + n) = \quad (31)$$

$$74,8 \text{ sek} + 45 \text{ sek} \times (10)$$

$$n = 5,4 \quad (32)$$

Nach dem vereinfachten Berechnungsmodell muss eine U-Bahn an **16 Stationen** halten, damit sie langsamer als eine S-Bahn wäre. Die Berechnung kann man auch anhand jenes Streckenvergleiches nachprüfen, der die exakte gleiche Fahrzeit hat: Wien Floridsdorf und Wien Meidling. Eine Aufgliederung ist in der Tab. 3 zu finden.

Tab. 3: Fallbeispiel Abhängigkeit Haltestationen auf Fahrzeit

Verkehrsmittel	Fahrzeit	Haltestationen
U-Bahn	25 min	17
S-Bahn	25 min	9
<b>Unterschied</b>	<b>0 min</b>	<b>+89% Halte [U-Bahn]</b>

#### 4.11.2 Fahrzeitvergleich beim Ausbau der U-Bahn-Strecke nach Klosterneuburg

Wäre die U-Bahn beim Ausbau der Strecke nach Klosterneuburg schneller als die S-Bahn?

Die S-Bahn-Strecke „Wien Heiligenstadt“ nach „Klosterneuburg Kierling“ hat zwei Zwischenhalte „Nussdorf“ und „Klosterneuburg Weidling“. Die Beschleunigungswerte und die Bremsverzögerung sind Tab. 1 zu entnehmen. In Tab. 2 werden die durchschnittlichen Haltezeiten aufgelistet. Die U-Bahn hat kürzere Haltezeiten und bessere Beschleunigungswerte. Die S-Bahn hat streckenweise höhere Endgeschwindigkeiten auf der freien Strecke.

Die potenzielle U-Bahn-Strecke soll, um einen Vergleichswert zu haben, die gleichen Distanzabstände wie die S-Bahn haben. Die Distanz- und Höchstgeschwindigkeitswerte sind der Abb. 25 zu entnehmen.

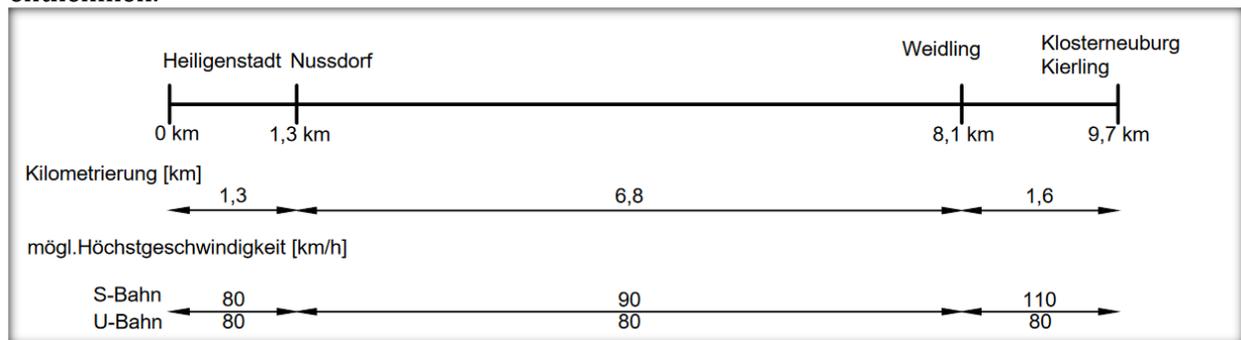


Abb. 25: Kilometrierung Wien Heiligenstadt - Klosterneuburg Kierling

#### Fahrzeitberechnung U-Bahn:

Beschleunigung U-Bahn

$$t_{anf,beschl} = \frac{v_2 - v_1}{a_{anf,beschl}} \quad (33)$$

$$t_{anf,beschl} = \frac{80/3,6 - 0}{1,2} \quad (34)$$

$$t_{anf,beschl} = 18,5 \text{ s} \quad (35)$$

$$s_{anf,beschl} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{a_{anf,beschl} \times 2} \quad (36)$$

$$s_{anf,beschl} = \frac{(80/3,6)^2 - 0}{1,2 \times 2} \quad (37)$$

$$s_{anf,beschl} = 205 \text{ m} \quad (38)$$

Bremsvorgang U-Bahn

$$t_{br} = \frac{v_2 - v_1}{a_{br}} \quad (39)$$

$$t_{br} = \frac{80/3,6 - 0}{1,4} \quad (40)$$

$$t_{br} = 15,9 \text{ s} \quad (41)$$

$$s_{br} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{a_{br} \times 2} \quad (42)$$

$$s_{br} = \frac{(80/3,6)^2 - 0}{1,4 \times 2} \quad (43)$$

$$s_{br} = 176 \text{ m} \quad (44)$$

Beharrungsfahrt

#### Heiligenstadt – Nussdorf

$$\text{Strecke der Beharrungsfahrt:} \quad 1300\text{m} - s_{anf,beschl} - s_{anf,beschl} = 919 \text{ m} \quad (45)$$

$$\text{Zeit der Beharrungsfahrt:} \quad t = \frac{s}{v} \quad = t = \frac{919}{80/3,6} = 41,4 \text{ s} \quad (46)$$

#### Nussdorf – Weidling

$$\text{Strecke der Beharrungsfahrt:} \quad 6800\text{m} - s_{anf,beschl} - s_{anf,beschl} = 6419 \text{ m} \quad (47)$$

$$\text{Zeit der Beharrungsfahrt:} \quad t = \frac{s}{v} \quad = t = \frac{6419}{80/3,6} = 54,9 \text{ s} \quad (48)$$

#### Weidling – Klosterneuburg Kierling

$$\text{Strecke der Beharrungsfahrt:} \quad 1600\text{m} - s_{anf,beschl} - s_{anf,beschl} = 1219 \text{ m} \quad (49)$$

$$\text{Zeit der Beharrungsfahrt:} \quad t = \frac{s}{v} \quad = t = \frac{1219}{80/3,6} = 288,9 \text{ s} \quad (50)$$

$$\text{Summe Beharrungsfahrten:} \quad 41,4 + 54,9 + 288,9 = 385,2 \text{ s} \quad (51)$$

$$\text{Summe Beschleunigungsfahrt:} \quad 3 \times t_{anf,beschl} = 3 \times 18,5 \text{ sek} = 55,5 \text{ s} \quad (52)$$

$$\text{Summe Bremsfahrt:} \quad 3 \times t_{br} = 3 \times 15,9 \text{ sek} = 47,7 \text{ s} \quad (53)$$

$$\text{Summe Beharrungsfahrt} + \text{Summe Beschleunigung} + \text{Summe Bremsverzögerung} + 2 \times \text{Haltezeit Bahnsteig (U – Bahn)} \quad (54)$$

$$385,2 + 55,5 + 47,7 + 2 \times 30 = 548 \text{ Sekunden} \quad (55)$$

**Gesamtfahrzeit der U-Bahn:** 9,14 Minuten = 548 Sekunden  
**Gesamtfahrzeit der S-Bahn** [gemäß www.anachb.vor.at] 9 Minuten = 540 Sekunden

Der Fahrzeitunterschied beider Verkehrsmittel ist signifikant klein. Da die maximale Geschwindigkeit der S-Bahn, welche auf der Website „<https://www.openrailwaymap.org/>“ eingesehen werden kann variiert, wird die Gesamtfahrzeit der bereits bestehenden S-Bahn aus „www.anachb.vor.at“ erfasst. Es gibt keinen fahrzeittechnischen Nutzen einer U-Bahn-Streckenerneuerung von Wien Heiligenstadt nach Klosterneuburg.

## 5 Analyse der unterschiedlichen Fahrzeiten

Zum Vergleich der unterschiedlichen Fahrzeiten werden insgesamt zehn Strecken nach Fahrzeit, Haltestationen und Streckenlänge analysiert. Daraus wurden folgende Daten gewonnen, wie in Tab. 4 ersichtlich ist. Die Gehwege und Wartezeiten werden dabei in Rechnung gestellt, außer beim Unterpunkt „Durchschnittlicher Fahrzeitunterschied“

Tab. 4: Analyse der Fahrzeitenvergleiche

<b>Verkehrsmittelverteilung</b>	<b>Anzahl</b>
S-Bahn	8
U-Bahn	9
Straßenbahn	3
<b>Schnellstes Verkehrsmittel</b>	<b>Anzahl</b>
S-Bahn	5
U-Bahn	5
Straßenbahn	1
<b>Maximaler Fahrzeitunterschied</b>	<b>Zeit [min]</b>
S-Bahn < U-Bahn Paris: Nation - Charles de Gaulle Etoile	9,3
S-Bahn > U-Bahn München: Marienplatz - Moosach	3,0
U-Bahn < Straßenbahn Mailand: Porta Genova - Lanza Brera	15,7
S-Bahn < Straßenbahn Wien: Hauptbahnhof - Praterstern	8,8
<b>Durchschnittliche Zeit zwischen Haltestellen</b>	<b>[min/Halt]</b>
S-Bahn	2,90
U-Bahn	1,77
Straßenbahn	1,67
<b>Durchschnittliche Strecke pro Halt</b>	<b>[km/halt]</b>
S-Bahn	1,89
U-Bahn	0,96
Straßenbahn	0,46
<b>Durchschnittliche Geschwindigkeit</b>	<b>[km/h]</b>
S-Bahn	39,08
U-Bahn	30,85
Straßenbahn	16,72
<b>Vergleiche</b>	
<b>Streckenvergleich [km]</b>	<b>Anzahl</b>
U-Bahn < S-Bahn	6
U-Bahn > S-Bahn	1
U-Bahn < Straßenbahn	2
U-Bahn > Straßenbahn	1
S.Bahn < Straßenbahn	0
S.Bahn > Straßenbahn	2

Durchschnittlicher Haltestellenunterschied	Halte +
U-Bahn mehr als S-Bahn	6,1
Straßenbahn mehr als U-Bahn	5,0
Straßenbahn mehr als S-Bahn	9,0
Durchschnittlicher Fahrzeitunterschied	Min +
S-Bahn kürzer als U-Bahn	2,71
U-Bahn kürzer als Straßenbahn	10,67
S-Bahn kürzer als Straßenbahn	9,00

## 6 Diskussion der Ergebnisse

Im Kapitel 2 „Grundlagen und Theorie“ wird aus der Literaturrecherche aufgegliedert, wie sich die Fahrzeit eines Verkehrsmittels zusammensetzt. Um einen Fahrzeitvergleich innerstädtischer Verkehrsmittel als Entscheidungsparameter zum Ausbau wichtiger Verkehrsverbindungen durchzuführen, ist es wesentlich, die Anzahl der Stationshalte zu kennen. Im Vergleich U-Bahn und S-Bahn ist dies der entscheidende Grund dafür, dass die Fahrzeit einer U-Bahn länger als die einer S-Bahn ist.

Die U-Bahn hat sowohl bessere fahrdynamische Eigenschaften als eine S-Bahn als auch geringere Fahrgastwechselzeiten. Die Streckenlängen unterscheiden sich durchschnittlich sehr wenig. An der Strecke Wien Heiligenstadt und Wien Hütteldorf ist die U-Bahn um 3,6 km länger. An den anderen Vergleichsstrecken ist immer die S-Bahn-Strecke länger. Im Durchschnitt ist der Streckenunterschied sehr gering.

Der Fahrgastwechsel schwankt bei U-Bahnen in Wien zwischen 20 und 40 Sekunden. Die Einflussfaktoren der Fahrgastwechselzeit sind die Verkehrsbedeutung, die Tageszeit und die Zugfolgezeit. Die S-Bahn hat Stationsaufenthaltszeiten von durchschnittlich 45 Sekunden. Dieser Wert ist höher als der der U-Bahn und kann in Zukunft verbessert werden. Weitere Verbesserungsoptionen sind eine Waggonausstattung, welche Personenwechselzeiten minimiert, aber auch barrierefreie und breitere Einstiegsmöglichkeiten bietet. Durch die schnelleren Beschleunigungs- und Bremswerte hat die U-Bahn eine bessere Fahrdynamik als eine S-Bahn.

Da die U-Bahn tendenziell mehr Haltestationen hat, als die S-Bahn ist, stellt sich die Frage, ab wie vielen Haltestops die S-Bahn schneller wird als die U-Bahn. Zur Berechnung dieser Fragestellung wird eine Vereinfachung genommen. Die U-Bahn hat eine Beschleunigung von  $1,2 \text{ m/s}^2$  und eine Bremsverzögerung von  $1,4 \text{ m/s}^2$ . Die durchschnittliche Haltezeit beträgt 30 Sekunden. Die S-Bahn dagegen hat eine Beschleunigung von  $0,7 \text{ m/s}^2$  und eine Bremsverzögerung von  $0,8 \text{ m/s}^2$ . Die durchschnittliche Haltezeit liegt bei 45 Sekunden. Der Streckenabstand einer Haltestelle wird für die U-Bahn und S-Bahn konstant mit 1000m und einer maximalen Geschwindigkeit von 80 km/h angenommen.

In Zukunft kann die Fahrgastwechselzeit von S-Bahnen durch besser designte Waggonen minimiert werden. Durch das Simulationsprogramm „TrainOptimizer“ kann das Innendesign von Zügen optimiert werden. Damit würde die Fahrzeit erheblich minimiert werden können. Ein Austausch von einem punktförmigen zu einem linienförmigen Zugbeeinflussungssystem der Wiener S-Bahn könnte die Taktfolgezeiten signifikant minimieren. Zurzeit können Züge, die in einem Streckenabschnitt eine Mindestgeschwindigkeit unterschreiten, nur mehr mit 45 km/h bis zum nächsten Streckenabschnitt gefahren werden. Ein Umbau zu einem LZB könnte diesen negativen Effekt beseitigen.

Straßenbahnen verkehren mit anderen Verkehrsteilnehmern/innen und erreichen nur eine maximale Geschwindigkeit von 50 km/h. bzw. 60 km/h Die Haltezeit einer Straßenbahn ist

geringer als die der anderen zwei Verkehrsmittel. An den untersuchten Strecken hat die Straßenbahn die meisten Stationsaufenthalte. Straßenbahnen sind bezüglich des Fahrzeitvergleichs wegen dünneren Intervallen weniger attraktiv, dennoch sind geringe Gehwege zu den Stationen ein Vorteil dieses schienengebundenen Verkehrsmittels. Die Straßenbahn hat kurze Fahrgastwechselzeiten, da sie aber tendenziell viel mehr Haltestationen hat als bei den behandelten Strecken ersichtlich wird und teilweise abhängig vom motorisierten Individualverkehr ist, ist sie in allen Fahrzeitvergleichen die langsamste Option.

Die Vergleichskategorien „Mittlerer Distanzunterschied“, „Durchschnittlicher Haltestellenunterschied“ und „Durchschnittlicher Fahrzeitunterschied“ werden berechnet, indem die gesamten Werte aller Vergleichsstrecken pro Verkehrsmittel addiert werden und dann von der Summe des Vergleichsfahrzeuges subtrahiert werden. Dieses Ergebnis wird dann mit der Häufigkeit der untersuchten Fahrzeitvergleiche dividiert, um auf einen durchschnittlichen Unterschied zu kommen.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit bietet einen guten Vergleichswert, warum ein Verkehrsmittel eine geringere Fahrzeit aufweist als ein anderes. Sie beinhaltet die Haltezeit und Fahrzeit. Eine U-Bahn hat bessere Beschleunigungs- und Bremswerte und eine kürzere Fahrgastwechselzeit, dennoch in allen Strecken die meisten Halte im Vergleich zur S-Bahn. Deshalb bietet diese Kennzahl eine gute Vergleichsbasis. Sie ist trotzdem mit der Streckenlänge abzustimmen. Da die Streckenlängen kürzer sind, als der vollständige Beschleunigungs- und Bremsweg um die Endgeschwindigkeit zu erreichen, bieten die Kennzahlen „Zeit pro Halt“ und „Strecke pro Halt“ eine gute Begründung, warum es zu Fahrzeitunterschieden kommt.

Die Verbindungsstrecken mit den ausgeprägteren Fahrzeitunterschieden liegen in Paris, da durch den Tunnelausbau zwei bestehende Bestandstrecken mit einem Tunnel verbunden wurden dadurch können weniger Stationsaufenthalte und dadurch schnellere mittlere Geschwindigkeiten erreicht werden. [26] Die Linie 14 hat durchschnittliche Stationsabstände von 1300m, daher kann eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit von 40 km/h erreicht werden. Bei anderen U-Bahn-Linien kann nur eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 30 km/h erreicht werden. [3] Beim Ausbauprojekt „Grand Paris Express“ erfolgt ein Materialwechsel der Räder auf Stahl, um höhere Geschwindigkeiten erreichen zu können. [35] Der Umbau dieser Bestandsstrecken hat einen erheblichen Einfluss auf die Fahrzeit. Die Fahrzeiten durch das Zentrum von Paris wurden dabei aufgrund weniger Haltestellen im Vergleich zur U-Bahn verkürzt, da sie weniger Haltestellen als die Pariser U-Bahn hat. Im Jahr 1998 wurde die U-Bahn-Linie 14 gebaut, die die S-Bahn entlasten soll. Auf der Strecke RER A verkehren Doppelstockzüge, die bis zu 2600 Personen pro Zug befördern können. [25]

### **Verbindungen mit Straßenbahn, S-Bahn und U-Bahn**

Wien Hauptbahnhof – Wien Praterstern

Das schnellste Verkehrsmittel ohne Fußwege und Wartezeiten ist die U-Bahn. Das schnellste Verkehrsmittel mit Fußwegen und Wartezeiten ist die S-Bahn. Als Anfangspunkt wurde der Vorplatz am Wiener Hauptbahnhof gewählt, da er einen zentralen Punkt für den weiteren Umstieg zu anderen Verkehrsmitteln darstellt. Als Zielpunkt wird der Vorplatz am Praterstern in Wien gewählt, da von dort der Eingang zum Wiener Prater erfolgt. Die ermittelte Verbindung ist die einzige, welche mit drei verschiedenen schienengebundenen Verkehrsmitteln befahren werden kann, ohne umzusteigen. Die U-Bahn-Stationen sind sowohl am Anfangs- als auch am Zielpunkt weit vom Bahnhofsvorplatz entfernt. Das erzeugt lange Gehwege. Dadurch ist die S-Bahn trotz einer Minute längerer Fahrzeit schneller. Die Straßenbahn erreicht durch die Beeinflussung durch andere Straßenverkehrsteilnehmer nur eine Geschwindigkeit von 13,1 km/h. Die S-Bahn-Strecke hat die längste Distanz und kann ihre Höchstgeschwindigkeit wegen der vielen Bögen und kurzen Haltestationsabständen nicht ausfahren.

## Verbindungen mit S-Bahn und U-Bahn

### Wien Hütteldorf – Wien Heiligenstadt

Das schnellste Verkehrsmittel ohne Fußwege und Wartezeiten ist die S-Bahn. Das schnellste Verkehrsmittel mit Fußwegen und Wartezeiten ist die S-Bahn. Als Anfangspunkt wurde der Vorplatz am Hütteldorfer Bahnhof gewählt, da einen zentralen Punkt für den weiteren Umstieg zum Regionalverkehr darstellt. Als Zielpunkt wird der 12.-Februar-Platz am Heiligenstädter Bahnhof gewählt, da von diesen weitergehenden Busverbindungen erfolgen. Dieser Streckenvergleich hat den größten Distanzunterschied der untersuchten Vergleichsstrecken. Diese Verbindung ist die einzige Strecke, an der die S-Bahn eine kürzere Fahrstrecke hat. Die U-Bahn hat mehr als doppelt so viele Haltestationen. Deshalb ergibt sich ein reiner Fahrzeitunterschied von 8 min. Die S-Bahn-Frequenz liegt zwischen 10 und 15 Minuten, dadurch kommt eine mittlere Wartezeit von 6,25 Minuten zustande, welche den Fahrzeitunterschied von 8 auf 4 Minuten halbiert.

### Wien Floridsdorf – Wien Meidling

Beide Verkehrsmittel sind ohne die Berücksichtigung der Fußwege und Wartezeiten gleich schnell. Das schnellste Verkehrsmittel mit Fußwegen und Wartezeiten ist die S-Bahn. Als Anfangspunkt wurde der Franz-Jonas-Platz gewählt, da einen zentralen Punkt für den weiteren Umstieg zum Bus- und Straßenbahnverkehr darstellt. Als Zielpunkt wird der Ausgang zur Meidlinger Hauptstraße gewählt, da sich der Meidlinger Bahnhof sehr weit erstreckt und die Meidlinger Hauptstraße als zentraler Punkt im 12. Wiener Gemeindebezirk gilt. Der Fahrzeitvergleich dieser Strecke lässt einen guten Vergleich darstellen, wie sich die Stationshalte der U-Bahn auf die Fahrzeit auswirken. Die reine Fahrzeit ist bei beiden Verkehrsmitteln gleich. Auf der U-Bahn-Linie U6 fährt das Fahrzeugmodell „T“, welches nur an dieser Linie fährt und schlechtere fahrdynamische Eigenschaften hat, als die Fahrzeugmodelle der U-Bahn-Linien 1-4. Die S-Bahn hat durch die geringeren Gehwege eine geringere Fahrzeit, deshalb ist sie das schnellere Verkehrsmittel. Der Distanzunterschied ist kleiner als zehn Prozent und die Durchschnittsgeschwindigkeit hat auch geringe Unterschiede. Dadurch dass die U-Bahn pro Kilometer und pro Minute doppelt so oft hält, wie die S-Bahn, werden die geringere Distanz, bessere fahrdynamische Eigenschaften fahrzeittechnisch ausgeglichen.

### München Marienplatz – Moosach

Das schnellste Verkehrsmittel ohne Fußwege und Wartezeiten ist die S-Bahn. Das schnellste Verkehrsmittel mit Fußwegen und Wartezeiten ist die U-Bahn. Als Anfangspunkt wurde der Marienplatz gewählt, da einen zentralen Punkt zur Innenstadt darstellt. Als Zielpunkt wird der Vorplatz am Moosacher Bahnhof gewählt, da von diesen weitergehenden Verkehrsverbindungen erfolgen. Bei diesem Fahrzeitvergleich ist der Unterschied zwischen reiner Fahrzeit und der Gesamtreisezeit stark ersichtlich. Die Fahrzeit ist bei der S-Bahn um 7 Minuten kürzer als bei der Straßenbahn. Da der Gesamtfußweg und die Wartezeit bei der Straßenbahn wesentlich kürzer sind, gleicht sich die Gesamtzeit aus und beide Verkehrsmittel sind gleich schnell. Die S-Bahn hat eine mehr als doppelt so hohe Durchschnittsgeschwindigkeit als die Straßenbahn und nur ein Drittel so viele Haltestationen. Die Distanz der S-Bahn ist beinahe 50% höher als die der Straßenbahn.

### Mailand Rogoredo – Mailand Repubblica

Das schnellste Verkehrsmittel ohne Fußwege und Wartezeiten ist die S-Bahn. Das schnellste Verkehrsmittel mit Fußwegen und Wartezeiten ist die U-Bahn. Als Anfangspunkt wurde der Piazza della Repubblica gewählt, da einen zentralen Punkt für den Ausgang ins Stadtzentrum bietet. Als Zielpunkt wird der Ausgang zur Via Rogoredo gewählt, da von diesen weitergehenden Busverbindungen erfolgen. Durch den Warteunterschied von 2 Minuten ist die U-Bahn in der Gesamtzeit das schnellere Verkehrsmittel. Die U-Bahn hat beinahe dreifach mehr Haltestationen als die S-Bahn. Die Höchstgeschwindigkeit der S-Bahn ist nur 60 km/h, deshalb ist trotz der wenigen

Halte die mittlere Geschwindigkeit nur um ca. 10% größer. Die Distanz beider Strecken ist sehr gering.

#### Paris Nation – Paris Charles de Gaulle Etoile

Das schnellste Verkehrsmittel ohne und mit Fußwegen und Wartezeiten ist die S-Bahn. Als Anfangspunkt wurde der Place de Nation gewählt, da einen zentralen Punkt für den Ausgang ins Stadtzentrum bietet. Als Zielpunkt wird der Arc de Triomphe gewählt, weil er einen wichtigen touristischen Punkt in Paris darstellt. Aufgrund der zehn zusätzlichen Haltestationen ergibt sich ein Fahrzeitunterschied von zehn Minuten. Der Gesamtzeitunterschied zwischen der U-Bahn und der S-Bahn ist der größte bei den untersuchten Vergleichsstrecken. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der S-Bahn ist doppelt so hoch, wie die der U-Bahn. Die Wartezeiten und Gesamtfußwege weisen wenige Unterschiede auf. Um die Fußwege vergleichen zu können, wurden der Place de Nation und der Arc de Triomphe gewählt.

#### Paris Gare Lyon – Paris Châtelet les Halles

Das schnellste Verkehrsmittel ohne und mit Fußwegen und Wartezeiten ist die U-Bahn. Als Anfangspunkt wurde der Fontaine des Innocents gewählt, da einen zentralen Punkt für den Ausgang ins Stadtzentrum bietet. Als Zielpunkt wird der Bahnhofsvorplatz gewählt, weil es sich beim Bahnhof Châtelet les Halles um einen der größten Verkehrsknotenpunkte Europas handelt und die S-Bahn und U-Bahn Linie weitentfernt sind. Bei diesem Fahrzeitvergleich kann die Fahrdynamik zwischen zwei Stationen dargestellt werden. Es gibt bei beiden Verkehrsmitteln nur eine Haltestation. Die derzeitige Pariser U-Bahn hat eine Höchstgeschwindigkeit von 55 km/h. Wegen der kürzeren Distanz und der besseren Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerte ist die U-Bahn in der reinen Fahrzeit trotzdem schneller. „Châtelet les Halles“ ist einer der größten U-Bahnstationen der Welt.

### **Verbindungen mit Straßenbahn und U-Bahn**

#### München Westfriedhof – München Hauptbahnhof

Das schnellste Verkehrsmittel ohne und mit Fußwegen und Wartezeiten ist die U-Bahn. Als Anfangspunkt wurde der Ausgang beim Westfriedhof. Als Zielpunkt wird der Bahnhofsvorplatz gewählt, da von diesen weiteren Verkehrsverbindungen schnell erreicht werden können. Auf dieser Strecke erreicht die Straßenbahn, im Vergleich zu den anderen analysierten Strecken, die schnellste Durchschnittsgeschwindigkeit. Die U-Bahn ist das Verkehrsmittel mit der kürzeren Fahrzeit. Beide Verkehrsmittel haben eine Zeit von 2 Minuten pro Haltestopp. Die Gesamtfußwege und Wartezeiten unterscheiden sich nur minimal. Die U-Bahn und die Straßenbahn haben einen Takt von 10 Minuten und fahren sowohl in der Früh als auch am Abend regelmäßig und in gleichen Zeitabständen.

#### Mailand Porta Genova – Mailand Lanza Brera

Das schnellste Verkehrsmittel ohne und mit Fußwegen und Wartezeiten ist die U-Bahn. Als Anfangspunkt wird der Porta Genova gewählt, da es sich um einen wichtigen Ausstiegspunkt zur Innenstadt handelt. Als Zielpunkt wird Lanza Brera gewählt, da es sich um einen wichtigen Tourismuspunkt handelt. Dieser Streckenvergleich zeigt den größten Zeitunterschied zwischen zwei Verkehrsmitteln. Die Differenz der Gesamtzeit liegt bei 16,7 Minuten. Die Straßenbahn erreicht eine durchschnittliche Geschwindigkeit von nur 8,2 km/h. Die Zwischenhalte der Straßenbahn sind um 150% höher als die der U-Bahn. Die mittlere Geschwindigkeit der U-Bahn beträgt 20,6 km/h und liegt unter den Durchschnittswerten der U-Bahn-Linien der anderen verglichen Städte.

## Verbindungen mit Straßenbahn und S-Bahn

München Hauptbahnhof – München Moosach

Das schnellste Verkehrsmittel ohne und mit Fußwegen und Wartezeiten ist die S-Bahn. Als Anfangspunkt wird der Bahnhofsvorplatz gewählt, da von diesen weiteren Verkehrsverbindungen schnell erreicht werden können. Als Zielpunkt wird der Vorplatz am Moosacher Bahnhof gewählt, da von diesen weitergehenden Verkehrsverbindungen erfolgen. Bei diesem Fahrzeitvergleich ist der Unterschied zwischen reiner Fahrzeit und der Gesamtreisezeit stark ersichtlich. Die Fahrzeit ist bei der S-Bahn um 7 Minuten kürzer als bei der Straßenbahn. Da der Gesamtfußweg und die Wartezeit bei der Straßenbahn wesentlich kürzer sind, gleicht sich die Gesamtzeit aus und beide Verkehrsmittel sind gleich schnell. Die S-Bahn hat eine mehr als doppelt so hohe Durchschnittsgeschwindigkeit als die Straßenbahn und nur ein Drittel so viele Haltestationen. Die Distanz der S-Bahn ist beinahe 50% höher als die der Straßenbahn.

## 7 Fazit

Zusammenfassend ist der Fahrzeitunterschied von der Anzahl der Stationsaufenthalte, den Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerten und den Geh- und Wartezeiten abhängig. Der Parameter mit dem größtmöglichen Einsparungspotential ist die Fahrgastwechselzeit. Durch eine optimale Ausstattung der Bahnsteige und Fahrzeuge kann in Zukunft dieser Zeitfaktor minimiert und dadurch die Gesamtfahrzeit gesenkt werden.

S-Bahn-Fahrpläne haben die längsten durchschnittlichen Wartezeiten. Durch kürzere Stationsaufenthalte und die Einführung des linienförmigen Zugbeeinflussungssystems kann die durchschnittliche Geschwindigkeit erhöht werden.

Die Fahrzeit von Straßenbahnen kann durch den Ausbau von mehreren eigenständigen Gleiskörpern und verkehrabhängiger Ampelsysteme verbessert werden. Dieser Ausbau wäre durch eine Reduktion des motorisierten Individualverkehrs möglich. Durch eine verkehrsplanerisch optimierte Gestaltung der Straßenbahnhaltestationen kann die Haltezeiten ebenfalls reduzieren werden.

Um den öffentlichen Personennahverkehr bezüglich der Fahrzeit attraktiver zu machen, ist ein gute Verknüpfung der Verkehrsmittel untereinander notwendig, um kurze Gehwege und Wartezeiten zu generieren und dadurch eine kürzere Gesamtfahrzeit zu erreichen.

Bei der Berechnung der Forschungsfragen werden Vereinfachungen in den folgenden Punkten gewählt:

- Durchschnittliche Haltezeit
- Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerte
- Höchstgeschwindigkeiten in Teilstrecken

Die Ergebnisse geben eine gute theoretische Begründung, warum ein Verkehrsmittel schneller ist als ein anderes, dennoch sollte, um einen besseren spezifischen Fahrzeitvergleich durchführen zu können, mit einem Fahrplansimulationsprogramm, wie zum Beispiel Opentrack, gearbeitet werden.

In Zukunft kann durch eine gezielte Forschung die Fahrzeit erheblich minimiert werden. Eine aktuelles Forschungsthema ist „Slip Coaching“. Diese neue Technologie ermöglicht es, dass Züge von einem Anfangsbahnhof zu einem Endbahnhof fahren können ohne zu halten. An Zwischenbahnhöfen werden während der Fahrt einzelne Wagen entkuppelt- und gekuppelt. Diese Vorgehensweise erfordert ein automatisches Kupplungssystem und ein Zugbeeinflussungssystem ETCS Level 3 und wurde in [49] für den Fernverkehr gezeigt. Jedoch könnte die Idee auch für Züge des Nahverkehrs überlegt werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] Verkehrsclub Österreich. *Mobilitätswende braucht mehr Öffentlichen Verkehr*. URL: <https://www.vcoe.at/themen/mobilitaetswende-braucht-mehr-oeffentlichen-verkehr>, (Zugriff 10.08.2022)
- [2] Vrtic, M. und P. Fröhlich (2006) *Was beeinflusst die Wahl der Verkehrsmittel?* Der Nahverkehr, 24 (4) (Seite 11)
- [3] Christeller R. Urban Transport Magazin. *Nach Verlängerung Pariser Metro Linie 14 wird längste schnellster und leistungsfähigste Linie*. 2020. URL: <https://www.urban-transport-magazine.com/nach-verlaengerung-pariser-metro-linie-14-wird-laengste-schnellste-und-leistungsfahigste-linie/> (Zugriff 06.11.2022)
- [4] Münchner Verkehrsgesellschaft. *"Dieselloks"*. URL: <https://www.u-bahn-muenchen.de/fahrzeuge/arbeitsfahrzeuge/dieselloks/> (Zugriff 28.10.2022)
- [5] Nendwich G. *Technische Grundlagen für den Einsatz von Zweisystemfahrzeugen am Beispiel der Wiener Linien*. TU Wien. Diplomarbeit. 2008. (Seite 12)
- [6] Fanpage der Wiener Linien. *"Technische Daten und Fahrzeugpläne"*. URL: <http://archiv.fpdwl.at/fahrzeuge/showtypedetails.php?type=v> (Zugriff 11.08.2022)
- [7] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. *Der Straßenbahner – Handbuch für U-Bahner, Stadt- und Straßenbahner*. VDV 2001
- [8] Vereinigung des Verkehrsgewerbes. *S-Bahn*. URL: <https://www.mobi-wissen.de/Verkehr/S-Bahn> (Zugriff 21.07.2022)
- [9] Verkehrsclub Österreich. *S-Bahn in der Stadt verbessern*. 2016. URL: <https://www.vcoe.at/publikationen/vcoe-factsheets/detail/vcoe-factsheet-2016-10-s-bahn-in-der-stadt-verbessern> (Zugriff 21.07.2022)
- [10] Siemens. *Desiro ML ÖBB Cityjet*. 2018. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9680ef2a-1386-4cb6-9fe9-b7a907e58698/datenblatt-desiro-ml-oebb-cityjet-d.pdf> (Zugriff: 29.08.2022)
- [11] Hertel. S. *Vor- und Nachteile einer Systemverknüpfung von S-, U-Bahn und Straßenbahn in Berlin*. Institut für Straßen- und Schienenverkehr TU Berlin. Diplomarbeit. 2001
- [12] Golling J. Bahntechnik und Betrieb. *Definition der Straßenbahn*. 2020. URL: <https://www.bahntechnik-bahnbetrieb.de/strassenbahn/> (Zugriff: 07.08.2022)
- [13] Schwake J.: *Zur rechtlichen Bewertung von „feindlichem Grün“*. Zeitschrift für Versicherungsrecht, Haftungs- und Schadensrecht, 2007 (Seite 1620–1624)
- [14] Pacht, J. *Systemtechnik des Schienenverkehrs*. 2022. Vieweg+Teubner Verlag.
- [15] Baukatalog. *Fahrdynamische Grundlagen*. URL: [https://www.baufachkatalog.de/media/blfa\\_files/9783834825865-Leseprobe.pdf](https://www.baufachkatalog.de/media/blfa_files/9783834825865-Leseprobe.pdf) (Zugriff: 07.08.2022) (Seite 21-30)
- [16] Büker T., Güdelhöfer C., Maldonado J., Ullrich L. *Haltezeiten – Analyse und Optimierung*. Via Proceedings of the 2nd International Railway Symposium Aachen 2019. (Seite 6)
- [17] Rüger S.: *Transporttechnologie städtischer öffentlicher Personenverkehr*. Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen; Berlin 1986 (3. bearbeitete Auflage), (Seite 29)
- [18] Uhl J.T. *Modellierung des Zeitbedarfs für Verkehrshalte im spurgeführten Personenverkehr*. Institut für Eisenbahn- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart. Dissertation. 2021.
- [19] Kammerer J. *Analyse von Haltestellenaufenthaltszeiten der Wiener U-Bahn*. TU Wien. Diplomarbeit. 2016 (Seite 76)
- [20] Wehr W. *Haltezeitrelationen am Beispiel der Wiener Schnellbahn*. TU Wien. Diplomarbeit 2010 (Seite 35)

- [21] Zmaritsch J. *Fahrgastwechselzeit bei städtischem Verkehrsmittel*. FH St.Pölten. Diplomarbeit. 2017. (Seite 13 bzw. 69)
- [22] Müller W. (1940). *Fahrdynamik der städtischen Verkehrsmittel*. In: Die Fahrdynamik der Verkehrsmittel. Springer, Berlin, Heidelberg. (Seite 286-287)
- [23] Matuschek S. Signalarchiv. *BVG-Beschleunigungsprogramme*. 2004. URL: <https://signalarchiv.de/Meldungen/10003189> (Zugriff 20.08.2022)
- [24] Golling J. Bahntechnik und Bahnbetrieb. *Fahrplantechnik* URL: <https://www.bahntechnik-bahnbetrieb.de/fahrplantechnik/> (Zugriff: 01.09.2022)
- [25] Vinci. *Grand Paris Express*. 2017. URL: [https://www.vinci.com/vinci.nsf/de/aktuelles/pages/grand\\_paris\\_express\\_gro%C3%9Ftes\\_infrastrukturprojekt\\_europas.html](https://www.vinci.com/vinci.nsf/de/aktuelles/pages/grand_paris_express_gro%C3%9Ftes_infrastrukturprojekt_europas.html) (Zugriff 31.08.2022)
- [26] Syndicat des Transports d'Ile-de-France. *Schéma directeur du RER A*. 2012.
- [27] Gerondeau C., Christian (2003). *La Saga du RER et le maillon manquant*. Presse de l'École nationale des ponts et chaussées. ISBN 2-85978-368-7.
- [28] Bahnblogstelle. *Punktförmige Zugbeeinflussung*. 2016. URL: <https://bahnblogstelle.com/lexikon/punktfoermige-zugbeeinflussung-pzb/> (Zugriff 06.09.2022)
- [29] Henningfeld S. Eisenbahnjournal [Zughalt.de](http://www.zughalt.de). *PZB – Was ist das eigentlich?*. 2011 URL: <http://www.zughalt.de/2011/02/pzb-was-ist-das-eigentlich/>(Zugriff 06.09.2022)
- [30] Bahn-Lexikon. *Linienförmige Zugbeeinflussung*. URL: <https://www.eib-t.de/lexikon/lzb.htm> (Zugriff 06.09.2022)
- [31] Wehner L.: *Signalssystem der S-Bahn München*. In: Signal + Draht. 62. Nr. 11. 1970, (Seite 200-204)
- [32] Pescher H., Richter H., M. Kukacka. *Zugsicherungstechnik bei der Wiener U-Bahn*. in *Elektrotech. Inftech* 117. 2000. (Seite 198-207)
- [33] Schnellbahn-Wien. *Schnellbahn Wien vernetzt Wien und das Umland auf ganzer Linie*. URL: <https://www.schnellbahn-wien.at/netz/> (Zugriff 06.09.2022)
- [34] ÖBB. *Unsere Züge*. URL: <https://www.oebb.at/en/reiseplanung-services/im-zug/unsere-zuege> (Zugriff 07.09.2022)
- [35] Jahn H. Tramway. *Paris: Die Fahrzeuge der Metro*.2021. URL: <http://www.tramway.at/paris/metro-fahrzeuge.html> (Zugriff 12.09.2022)
- [36] S-Bahn Berlin. *Liniennetz der S-Bahn in Berlin*. URL: <https://sbahn.berlin/liniennetz/> (Zugriff 28.10.2022)
- [37] Verkehrsclub Österreich. *S-Bahn in Wien verbessern*. URL: <https://vcoe.at/publikationen/vcoe-factsheets/detail/vcoe-factsheet-2016-10-s-bahn-in-der-stadt-verbessern> (Zugriff 28.10.2022)
- [38] Rechtsinformationssystem des Bundes. *Straßenbahnverordnung 1999*. URL: [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/2000\\_76\\_2/2000\\_76\\_2.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/2000_76_2/2000_76_2.pdf) (Zugriff 28.10.2022)
- [39] ÖBB-Infrastruktur. *Anforderungen an das Class B System PZB 90*. URL: [https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/dokumente-und-daten/etcs-zugbeeinflussung/etcs-anforderungen/dokument?datei=50-02-07\\_ver+01.10.2021.pdf](https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/dokumente-und-daten/etcs-zugbeeinflussung/etcs-anforderungen/dokument?datei=50-02-07_ver+01.10.2021.pdf) (Zugriff 28.10.2022)
- [40] Golling J. Bahntechnik und Bahnbetrieb. *Fahrerlose Wende*, URL: <https://www.bahntechnik-bahnbetrieb.de/fahrerlose-wende/> (Zugriff 30.10.2022)

- [41] Railway Technology. *Alstom to supply automatic train operation system to Paris metro*. URL: <https://www.railway-technology.com/news/alstom-supply-automatic-train-operation-system-paris-metro/> (Zugriff 30.10.2022)
- [42] Blatti G. Munafo S. *Der Modalsplit des Personenverkehrs in der Schweiz – Bedeutung und Herausforderung für den öffentlichen Verkehr*. Bundesamt für Raumentwicklung ARE Schweiz. 2018
- [43] Fahrplanauskunft Mailand. URL: <https://www.atm.it/>
- [44] Fahrplanauskunft Paris. URL: <https://www.ratp.fr/>
- [45] Streckendistanzmesser. URL: <http://brouter.de/>
- [46] Bahnstreckeninformationen: URL: <https://www.openrailwaymap.org/>
- [47] Fahrplanauskunft Wien. URL: <https://anachb.vor.at/>
- [48] Fußwege und übrige Fahrplanauskunft. URL: <https://www.google.com/maps>
- [49] Verkehrsforschung Deutsche Luft- und Raumfahrt. *Slip Coaching und virtuelles Kuppeln*. URL: <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/ngt-bit-slip-coaching-und-virtual-coupling-demonstrator> (Zugriff 30.10.2022)

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ausbaupotential Öffentlicher Verkehr [1].....	3
Abb. 2: Ausstiegszeiten Straßenbahn [21, Seite 69].....	9
Abb. 3: Zeitanteile Haltezeit [21, Seite 13].....	9
Abb. 4: Streckenverlauf U-Bahn: Wien Hauptbahnhof - Wien Praterstern.....	12
Abb. 5: Streckenverlauf Straßenbahn: Wien Hauptbahnhof - Wien Praterstern.....	12
Abb. 6: Streckenverlauf S-Bahn: Wien Hauptbahnhof - Wien Praterstern.....	12
Abb. 7: Streckenverlauf U-Bahn: Wien Floridsdorf - Wien Meidling.....	13
Abb. 8: Streckenverlauf S-Bahn: Wien Floridsdorf - Wien Meidling.....	13
Abb. 9: Streckenverlauf S-Bahn: Wien Heiligenstadt - Wien Hütteldorf.....	14
Abb. 10: Streckenverlauf U-Bahn Wien Heiligenstadt – Wien Hütteldorf.....	14
Abb. 11: Streckenverlauf U-Bahn: München Marienplatz – München Moosach.....	15
Abb. 12: Streckenverlauf S-Bahn: München Marienplatz - München Moosach.....	15
Abb. 13: Streckenverlauf Straßenbahn: München Westfriedhof - München Hauptbahnhof.....	16
Abb. 14: Streckenverlauf U-Bahn: München Westfriedhof - München Hauptbahnhof.....	16
Abb. 15: Streckenverlauf S-Bahn: München Hauptbahnhof - München Moosach.....	17
Abb. 16: Streckenverlauf Straßenbahn: München Hauptbahnhof – München Moosach.....	17
Abb. 17: Streckenverlauf S-Bahn: Mailand Rogorredo - Mailand Repubblica.....	18
Abb. 18: Streckenverlauf U-Bahn: Mailand Rogorredo - Mailand Repubblica.....	18
Abb. 19: Streckenverlauf Straßenbahn: Mailand Porta Genova - Mailand Lanza Brera.....	19
Abb. 20: Streckenverlauf U-Bahn: Mailand Porta Genova - Mailand Lanza Brera.....	19
Abb. 21: Streckenverlauf U-Bahn: Paris Nation - Paris Charles de Gaulle Etoile.....	20
Abb. 22: Streckenverlauf S-Bahn: Paris Nation - Paris Charles de Gaulle Etoile.....	20
Abb. 23: Streckenverlauf U-Bahn: Paris Gare Lyon - Paris Chatelet.....	21
Abb. 24: Streckenverlauf S-Bahn: Paris Gare Lyon - Paris Chatelet.....	21
Abb. 25: Kilometrierung Wien Heiligenstadt - Klosterneuburg Kierling.....	24

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerte [22 (Seite 287)] [23].....	7
Tab. 2: Durchschnittliche Haltezeiten [19] [20].....	8
Tab. 3: Fallbeispiel Abhängigkeit Haltestationen auf Fahrzeit.....	24
Tab. 4: Analyse der Fahrzeitenvergleiche.....	26