

DIPLOMARBEIT Master Thesis

Entscheidungskriterien für die Systemwahl im öffentlichen Personennahverkehr

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

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Norbert Ostermann

E230

Institut für Verkehrswissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Johannes Kehrer, BSc.

0726729

Stadtplatz 9/6
3400 Klosterneuburg

Wien, am

Kurzfassung

Die Systemwahl im öffentlichen Personennahverkehr stellt ein komplexes Entscheidungsfeld dar. Um eine rationale Entscheidung zu treffen, müssen Lösungsalternativen anhand einheitlicher Entscheidungskriterien miteinander verglichen und evaluiert werden.

Die vorliegende Arbeit setzt sich zum Ziel, zunächst einen Überblick über die zur Auswahl stehenden Verkehrssysteme zu geben und diese vorzustellen. Danach werden Entscheidungskriterien, die im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen sind, definiert und die untersuchten Verkehrssysteme auf ihre Eigenschaften bezüglich dieser Kriterien untersucht. Weiters werden der ideale Entscheidungsprozess beleuchtet und Analysemethoden zum Vergleich der zu untersuchenden Lösungsalternativen auf ihre Eignung untersucht, die ermittelten Entscheidungskriterien adäquat zu berücksichtigen. Diese Fragestellungen werden auf der Grundlage der Auswertung aktueller Fachliteratur und Expertengesprächen in reale Entscheidungsprozesse involvierter Akteure diskutiert.

Im Ergebnis wird deutlich, dass eine Vielzahl von Entscheidungskriterien auf Dritte, nicht unmittelbar in den Entscheidungsprozess Involvierte, wirken. Diese Kriterien sind oft nicht monetär darstellbar, weswegen sich zur Analyse am besten Multikriterienanalysen eignen, welche keine rein monetären Parameter benötigen. Ein Vergleich mit realen Entscheidungsprozessen zeigt weiters, dass sich diese aufgrund politischen Kalküls der Entscheidungsträger erheblich vom idealen Entscheidungsprozess unterscheiden.

Zunächst wird eine Einleitung über den Inhalt und die Vorgehensweise der Arbeit gegeben. Dabei werden drei Forschungsfragen formuliert. Danach werden Grundlagen des ÖPNV dargestellt und Parameter des Mobilitätsverhaltens beschrieben. Einer Vorstellung verschiedener Verkehrssysteme und ihrer Einteilung folgen die Entscheidungskriterien für die Systemwahl. Es folgen die Untersuchung des idealen Entscheidungsprozesses samt Analyseverfahren und die Vorstellung zweier realer Entscheidungsprozesse. Ein Soll/Ist-Vergleich zwischen Theorie und Praxis, eine Zusammenführung der Ergebnisse und die Beantwortung der Forschungsfragen. Den Abschluss bildet ein Ausblick auf weitere, durch die Arbeit aufgeworfene Fragestellungen.

Abstract

Modal choice in urban public transit is a complex field of decision-making. In order to achieve a rational decision-making, different solutions have to be compared by uniform decision criteria.

This thesis aims to give an overview of available transport systems and their characteristics. Subsequently, decision criteria, which are meant to be taken into account in the decision making process are defined. The presented transport systems are investigated for their performance on these criteria. Furthermore the ideal decision making process is defined and tools for comparing different solution alternatives, whilst taking the previously defined criteria into account are investigated. These items are discussed, based on literature reviews and expert interviews on real and ongoing decision-making processes.

The results show that there are many decision criteria that affect third parties who are not directly involved in the decision-making process. These are known as external effects and these criteria are often non-monetary parameters. That's why multi criteria analysis is best suited for comparing solution alternatives since they are not dependent on solely monetary values. A comparison between target and actual decision-making processes shows, that in reality political preferences of decision makers divert actual processes from the "ideal" decision-making process.

The thesis commences with an overview of content and methodology and poses three fundamental research questions. Following this, the basics of urban transit and characteristics of urban mobility are discussed. Different transport systems and ways of classifying them are presented in the following chapters before defining various decision criteria that should be taken into account. Subsequently the ideal decision-making process is defined in theory and is compared to actual decision making processes, based on two case studies. A comparison between target and actual decision-making, a discussion of the results and an answer to the posed research question conclude the thesis. Finally, an outlook on future questions raised during the work in this thesis is given.

Inhalt

1	Einleitung.....	7
2	Grundlegendes zum öffentlichen Personennahverkehr	9
2.1	Historischer Abriss urbaner Verkehrsplanung	9
2.1.1	Von den Anfängen bis zur industriellen Revolution.....	9
2.1.2	Die Zwischen- und Nachkriegszeit.....	10
2.1.3	Aufkommen der Verkehrsverbünde.....	11
2.2	Wechselwirkung von Raum- und Verkehrsplanung	12
2.3	Kennwerte urbaner Mobilität	13
2.3.1	Definition der Mobilität – Mobilitätsrate	13
2.3.2	Mobilitätszeitbudget und Tageswegedauer.....	15
2.3.3	Wegelänge und Tagesreiseweite	16
2.3.4	Motorisierungsgrad.....	16
2.3.5	Modal Split	17
2.4	Trends und Visionen im ÖPNV	17
3	Netzgestaltung im urbanen öffentlichen Nahverkehr	20
3.1	Einflüsse auf die Netzgestaltung	20
3.1.1	Nachfrageorientierte Faktoren	20
3.1.2	Technische und betriebswirtschaftliche Faktoren	21
3.1.3	Faktoren im Interesse der Allgemeinheit.....	21
3.1.4	Organisationsstruktur.....	22
3.2	Linienformen	23
3.2.1	Radiallinien	24
3.2.2	Durchmesserlinien.....	24
3.2.3	Tangentiallinien, Ringlinien	24
3.3	Netzformen	24
4	Überblick über die Verkehrssysteme	26
4.1	Arten der Klassifizierung.....	26
4.1.1	Klassifizierung nach Verfügbarkeit	26
4.1.2	Klassifizierung nach dem Fahrweg (Right-of-way)	26
4.1.3	Klassifizierung nach Technologien.....	27
4.1.4	Klassifizierung nach verkehrlicher Funktion.....	27
4.2	Herkömmliche Einteilung.....	28
5	Eigenschaften der Verkehrssysteme	30

5.1	Oberflächenverkehr	30
5.1.1	Herkömmlicher Bus	30
5.1.2	O-Bus	31
5.1.3	Straßenbahn	32
5.2	Beschleunigter Oberflächenverkehr	34
5.2.1	LRT / Stadtbahn	34
5.2.2	BRT / Schnellbus	35
5.2.3	Spurgeführte Bussysteme	36
5.3	Schnellverkehr	38
5.3.1	U-Bahn	38
5.3.2	S-Bahn	39
5.4	Spezialisierte Verkehrssysteme	40
5.4.1	Seilbahnen	40
5.4.2	Kabinensysteme	42
5.4.3	Fähren	42
6	Entscheidungskriterien für die Systemwahl	43
6.1	Technische Randbedingungen	43
6.1.1	Systemleistungsfähigkeit	43
6.1.2	Reisegeschwindigkeit	44
6.1.3	Geometrische Grenzen der Trassierung	45
6.1.4	Haltestellenabstände	46
6.2	Betriebliche Entscheidungskriterien	47
6.2.1	Zuverlässigkeit	48
6.2.2	Flexibilität	49
6.2.3	Sicherheit	50
6.3	Ökonomische Entscheidungskriterien	51
6.3.1	Investitionskosten	51
6.3.2	Betriebskosten	52
6.3.3	Ökonomische Folgeerscheinungen	54
6.4	Siedlungsstrukturelle Entscheidungskriterien	55
6.5	Externe Entscheidungskriterien	56
6.5.1	Treibhausgasemissionen	57
6.5.2	Andere Schadstoffemissionen	58
6.5.3	Schallemissionen	59
6.5.4	Vibration/Erschütterung	60
6.5.5	Energieverbrauch	61

6.6	Fahrgastseitige Entscheidungskriterien	61
6.6.1	Zeitersparnis	61
6.6.2	Akzeptanz	62
6.6.3	Barrierefreiheit & Komfort	63
6.7	Weitere Einflussfaktoren im Entscheidungsprozess	63
6.7.1	Politik	63
6.7.2	Finanzierung	64
7	Entscheidungsprozess und Analyseverfahren	65
7.1	Systematik des idealen Entscheidungsprozesses	65
7.2	Analyseverfahren	66
7.2.1	Wirkungsanalyse (WA)	67
7.2.2	Nutzwertanalyse (NWA)	68
7.2.3	Kosten-Wirksamkeitsanalyse (KWA)	69
7.2.4	Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)	69
7.2.5	Lebenszykluskostenanalyse (LCC)	70
7.2.6	Multikriterienanalyse (MKA)	71
7.2.7	Eignung der verschiedenen Analyseverfahren zur Systemwahl im urbanen ÖPNV	72
8	Untersuchung realer Entscheidungsprozesse	73
8.1	Zweite Straßenbahnachse Linz	73
8.1.1	Entscheidungsfelder	74
8.1.2	Angewendete Analyseverfahren	75
8.1.3	Spezifische Entscheidungskriterien	75
8.1.4	Fazit	75
8.2	Weitere Innenstadtquerung Graz	76
8.2.1	Entscheidungsfelder	76
8.2.2	Angewendete Analyseverfahren	77
8.2.3	Fazit	78
9	Zusammenfassung	79
9.1	Schlussfolgerungen	79
9.2	Ausblick	80
10	Tabellenverzeichnis	81
11	Abbildungsverzeichnis	81
12	Abkürzungsverzeichnis	82
13	Literaturverweise	83
14	Verweise – reale Entscheidungsprozesse	87

1 Einleitung

Ballungsräume erleben in Mitteleuropa einen stetigen Bevölkerungszuwachs, während ländliche Gebiete mit Landflucht zu kämpfen haben. Diese Konzentration der Bevölkerung in urbanen Räumen verursacht in innerstädtischen Bereichen ein steigendes Verkehrsaufkommen. Somit kommt der Verkehrsaufteilung auf verschiedene Verkehrsmittel, die effizient mit dem verfügbaren Raum, besonders in historisch gewachsenen, innerstädtischen Räumen, umgehen, eine große Bedeutung zu. Außerdem ist gerade in den letzten Jahren eine Bewusstseinsbildung in Richtung nachhaltiger, umweltfreundlicher Mobilität erkennbar. Von den zuständigen Entscheidungsträgern wird vermehrt angestrebt, den flächenaufwändigen motorisierten Individualverkehr (MIV) durch Verkehrsträger des Umweltverbunds zu ersetzen. Den Umweltverbund bilden der nichtmotorisierte Individualverkehr (NMIV), also Fußgänger und Radfahrer, sowie der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV).

Zur optimalen Erschließung eines Siedlungsraumes durch den ÖPNV bedarf es, nicht zuletzt aufgrund der großen Investitionsvolumina, eines sorgfältigen Entscheidungsprozesses. Eines der Schlüssel-Entscheidungsfelder bildet hierbei die Systemwahl. Um diese Systemwahl seriös zu treffen, ist es unerlässlich, alle relevanten Auswirkungen zu berücksichtigen. Dazu bildet die Formulierung von Entscheidungskriterien die Basis, auf denen die Entscheidung schließlich getroffen wird. Diese Kriterien bestehen aus spezifischen Eigenschaften der Systeme einerseits, sowie aus unterschiedlichen Auswirkungen, zum Beispiel auf die Siedlung, die Umwelt und den Fahrgast. Da die Entscheidung letztlich durch eine Gewichtung dieser Kriterien getroffen wird, ist eine möglichst lückenlose Aufstellung der relevanten Kriterien wichtig.

Eine übersichtliche Aufstellung der relevanten Kriterien, samt Untersuchung der allgemeinen Eigenschaften der gängigen Verkehrssysteme im Bezug auf diese Kriterien fehlt in der Fachliteratur jedoch. Aus diesem Grund wird der Untersuchungsrahmen der vorliegenden Arbeit anhand der folgenden Forschungsfragen festgelegt:

- Welche Verkehrsträger stehen für urbanen öffentlichen Verkehr zur Auswahl und wo sind ihre Systemgrenzen?
- Welche Parameter haben zusätzlich direkten oder indirekten Einfluss auf die Umwelt und sollten daher Berücksichtigung im Entscheidungsprozess finden?
- Welche Bewertungs- bzw. Analysemethoden eignen sich zur möglichst umfassenden Berücksichtigung dieser Parameter?

Diese Fragen müssen in einem repräsentativen Untersuchungsrahmen mit größtmöglichem Gültigkeitsbereich abgehandelt werden. Dazu müssen sowohl Merkmale des Siedlungsraumes als auch Anwendungsfall des ÖPNV sinnvoll festgelegt werden. Im weiteren Verlauf werden verschiedene, zur Anwendung kommende, Verkehrssysteme vorgestellt und auf ihre charakteristischen Merkmale untersucht. Nach der Festlegung des Untersuchungsrahmens werden mögliche Entscheidungskriterien evaluiert und die vorgestellten Verkehrssysteme auf ihre diesbezüglichen Eigenschaften untersucht. Um die evaluierten Kriterien im Entscheidungsprozess auch adäquat berücksichtigen zu können, wird ein idealer Entscheidungsprozess vorgestellt, sowie Analyseverfahren zur Vergleichbarkeit der Verkehrssysteme auf ihre Eignung untersucht.

Anschließend werden die Ergebnisse mit Fallstudien zweier realer, laufender Entscheidungsprozesse der Systemwahl im ÖPNV verglichen. Eine Gegenüberstellung zwischen dem theoretisch idealen Entscheidungsprozess und Erkenntnissen aus realen Fällen bildet einen Soll/Ist Vergleich zwischen Theorie und Realität. Abschließend wird ein Ausblick mit in der Arbeit aufgeworfenen, unbeantworteten Fragestellungen formuliert.

In Kapitel 2 werden zunächst anhand einer Literaturrecherche die Grundlagen des ÖPNV beleuchtet, sowie eine sinnvolle Begrenzung der zu untersuchenden Siedlungsräume gewählt. Den Beginn bildet dabei ein historischer Abriss urbaner Verkehrsplanung und der Entwicklung des ÖPNV. Weiter wird die Wechselwirkung zwischen Raum- und Verkehrsplanung erläutert und, als Basis zum weiteren Vorgehen, gängige Kennwerte der Mobilität vorgestellt. Den Abschluss dieser Grundlagenuntersuchung bildet ein Ausblick auf die mögliche Zukunft des ÖPNV.

In Kapitel 3 wird, auf Basis von Fachliteratur, die Netzgestaltung im ÖPNV vorgestellt. Es werden Einflüsse auf die Netzgestaltung untersucht, von technischen Merkmalen bis hin zur Organisationsstruktur und anschließend Linienformen und Netzformen definiert und abgegrenzt. Im Rahmen dessen wird der Untersuchungsrahmen auf Durchmesserlinien des hochrangigen ÖPNV-Netzes gelegt um damit eine möglichst allgemeingültige Aussage treffen zu können.

Anschließend werden in Kapitel 4 zur Anwendung im gewählten Untersuchungsrahmen geeignete Verkehrssysteme vorgestellt, wobei verschiedene Arten der Klassifizierung nach diversen Gesichtspunkten beleuchtet werden. Diese zeigen Gemeinsamkeiten unterschiedlicher Verkehrssysteme auf, bevor im nachfolgenden Kapitel 5 eine Auswahl an gängigen Systemen einzeln vorgestellt und charakterisiert wird. Diese Analysen geschehen auf Basis von Fachliteratur.

Nach den verkehrlichen Grundlagen und der Einteilung und Vorstellung der für den gewählten Untersuchungsrahmen relevanten Verkehrssysteme, werden in Kapitel 6 mögliche Entscheidungskriterien aus der Fachliteratur ermittelt. Diese werden anschließend auf ihre Relevanz überprüft und mit den untersuchten Verkehrssystemen in Kontext gebracht. In tabellarischer Form werden qualitative oder quantitative Aussagen des Abschneidens der Verkehrssysteme je Entscheidungskriterium dargestellt und bilden somit ein übersichtliches Nachschlagwerk.

Zur adäquaten Berücksichtigung der evaluierten Entscheidungskriterien im Entscheidungsprozess behandelt Kapitel 7 den, in der Literatur vorkommenden „idealen Entscheidungsprozess“, sowie dessen mögliche Analyseverfahren. Diese Verfahren werden auf ihre Eignung auf die Einberechnung der Entscheidungskriterien überprüft und qualitativ bewertet.

Nach der theoretischen Formulierung des idealen Entscheidungsprozesses samt Einbeziehung der relevanten Entscheidungskriterien werden in Kapitel 8 laufende, reale Entscheidungsprozesse der Systemwahl, die ebenfalls dem gewählten Untersuchungsrahmen entsprechen, untersucht und anschließend mit den theoretisch gewonnenen Erkenntnissen verglichen. Die Fallstudien basieren auf Korrespondenzen mit - in den Entscheidungsprozess involvierten – Akteuren.

Abschließend werden in Kapitel 9 Schlussfolgerungen aus den gewonnenen Erkenntnissen gezogen, und die Forschungsfragen hinsichtlich ihrer Beantwortungen untersucht. Abgerundet wird die Arbeit von einem Ausblick sowie der Formulierung unbeantworteter oder im Arbeitsprozess aufgeworfener, weiterführender Fragestellungen.

2 Grundlegendes zum öffentlichen Personennahverkehr

Im folgenden Kapitel werden Geschichte und Grundlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) beleuchtet. Hauptaugenmerk wird dabei auf Großstadträume im deutschsprachigen Raum gelegt. Hierzu wird die statistische Klassifikation für Großstadtregionen herangezogen, die laut Statistik Austria (2013) eine Großstadt als urbanen Raum mit einer Einwohnerzahl im Kerngebiet von über 100.000 und unter 1.000.000 definiert. Weiter werden Kennwerte definiert und beschrieben, die in der Verkehrsplanung Anwendung finden. Schließlich werden Visionen und Ausblicke im ÖPNV beschrieben.

2.1 Historischer Abriss urbaner Verkehrsplanung

2.1.1 Von den Anfängen bis zur industriellen Revolution

Die Betrachtung des menschlichen Mobilitätsverhaltens von Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 4ff) im geschichtlichen Abriss zeigt bis zur industriellen Revolution kaum Veränderungen. Das Absolvieren von Wegen diente damals wie heute zur Befriedigung von Bedürfnissen. Bis zur industriellen Revolution gab es ausschließlich die Straße als Verkehrsraum der urbanen Mobilität.

Die Entwicklung der Mobilität geht einher mit der Entwicklung der Stadt und beginnt in der Bronzezeit mit dem sesshaft Werden der Menschen. Durch die Entwicklung eines privaten Raumes wurden Bedürfnisse nun immer von bestimmten Punkten ausgehend an immer wieder gleichen anderen Punkten befriedigt. Die Straße als Verkehrsraum für Fußgänger und geschobene Karren, Reit- und Zugtiere aller Art dominierte das Bild der Siedlungen. Überregionale Straßen, wie zum Beispiel im römischen Reich, die einzelne Siedlungen miteinander verbanden, bildeten die Ausnahme. Letztlich herrschte vor der industriellen Revolution eine dezentrale Verteilung der Verdichtungsräume, vor allem im deutschsprachigen Gebiet begünstigt durch die Kleinstaaterei innerhalb des Habsburgerreichs.

Mit Beginn der industriellen Revolution in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und der Erfindung von Eisenbahn und Automobil kam es zu einem nahezu sprunghaften Anstieg der Geschwindigkeit. Binnen eines Jahrhunderts stieg die Reisegeschwindigkeit um das 10 – 20 fache an, was einen ebenso sprunghaften Anstieg des Aktionsradius bedeutete. Die Eisenbahn förderte eine rasante linienförmige Ausdehnung der Siedlungsgebiete und warf erstmals, bis in die Gegenwart präsen, Diskussionen zur Siedlungsplanung auf. 1886 wurde das Automobil erfunden, das sich von der Eisenbahn durch zwei fundamentale Unterschiede abgrenzt: Erstens bilden beim System Eisenbahn das Fahrzeug und der Fahrweg eine nicht zu trennende Einheit, während dem Automobil die ohnehin bestehenden Straßenanlagen als Fahrweg dienen und somit eine örtliche Flexibilität gewährleisten. Der zweite Unterschied ist die zeitliche Flexibilität des Autos – da es in der Regel individuell benutzt wird (MIV). Die Eisenbahn verfügt durch ihre Funktion als Massenverkehrsmittel und die Fahrplanbindung nur über eine begrenzte zeitliche Flexibilität.

2.1.2 Die Zwischen- und Nachkriegszeit

Im weiteren Verlauf wurde im deutschsprachigen Raum die Entwicklung – im Gegensatz zum florierenden Verkehrssektor in den Vereinigten Staaten – durch zwei Weltkriege gebremst. In der Zwischenkriegszeit wurde, nicht zuletzt bedingt durch die herrschende Armut, lediglich der öffentliche Nahverkehr ausgebaut, der MIV hatte Seltenheitswert. Küne (1991, S. 29ff) gliedert die Verkehrsplanung im Europa der Nachkriegszeit in fünf wesentliche Phasen und erläutert diese:

1. Die *Autophase*,
2. die *Phase des Nachdenkens*,
3. die *Umbruchphase*
4. die *Umfeldphase*
5. die *Wertephase* und
6. die *Phase des Nachdenkens*.

Dabei umfasst die *Autophase* den Wiederaufbau und die Priorisierung des Autoverkehrs in dieser Zeit. Die Phase reichte bis in die Mitte der sechziger Jahre und war geprägt von starkem Bevölkerungswachstum aufgrund Rückkehrender und Evakuierter des Krieges. In dieser Zeit wurde noch größeres Wachstum vorausgesehen und die aufgelockerte Siedlung nach dem Leitbild der *autogerechten Stadt* von Reichow (1959, S. 5) als Ideal herangezogen. Demnach waren jegliche Stadtplanungsmaßnahmen dem ungehinderten Verkehrsfluss des Autos unterzuordnen. In dieser Zeit wurden die Grenzen der Städte gesprengt, sozial Starke zogen in die Randgebiete, um den aufkommenden negativen Auswirkungen des MIVs auszuweichen. Der steigende Motorisierungsgrad in der Bevölkerung führte zu erhöhten Beeinträchtigungen durch Lärm, Stauungen und Abgase. In dieser Phase dienten die Investitionen in den öffentlichen Verkehr vordergründig zur Instandsetzung nach dem Krieg, ein Ausbau des Angebots wurde vernachlässigt.

Es folgte die *Phase des Nachdenkens*, die Mitte der Sechziger einsetzte und in Deutschland zu einem Beschluss des Bundestags für eine Kommission für „Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden“ führte. In England veröffentlichte Colin Buchanan den Bericht „Traffic in Towns“, der erstmals die negativen Auswirkungen und die Grenzen der steigenden Motorisierungen in Städten dokumentierte. In Österreich wurde vom Nationalrat 1968 ein Gesamtverkehrskonzept beschlossen, das im Vergleich zu den Nachkriegsjahren nicht ausschließlich auf die einzelnen Verkehrsträger einging, sondern eine integrative Planung vorsah. Erstmals wurde die Wechselwirkung zwischen Verkehrspolitik und Raumordnung erkannt und von Bundeskanzler Kreisky in seiner Antrittsrede 1970 hervorgehoben (Steininger, 2008, S. 41).

Die *Umbruchphase* markierte die Renaissance des ÖPNV. Aus bis dahin ungebremstem Wachstum der Städte sollte ein kontrolliertes, überschaubares werden. Flächendeckende Verkehrsberuhigungen in Städten, wie von Buchanan (2013, S. 6ff) anvisiert, bilden jedoch die Ausnahmen. In Wien werden zu dieser Zeit jedoch Kärntnerstraße und Graben zu Fußgängerzonen umgebaut. Unter der Regierung Kreisky wird 1972 ein Prioritätenkatalog beschlossen, in dem unter anderem die „Ballungsraumproblematik“ und weitreichende Investitionen in den ÖPNV vorgesehen werden (Steininger, 2008, S. 44).

In der *Umfeldphase* stagniert das Wachstum der Städte, die Transportleistungen der Öffentlichen Verkehrsmittel werden durch weitreichende Investitionen jedoch erhöht. In Stadtzentren kommt es zu Beruhigungen des Individualverkehrs (IV). Gewerbegebiete und Siedlungen außerhalb der Kerne

der Siedlungsgebiete wachsen flächenhaft, wodurch diese durch linienförmige Verkehrsmittel kaum zu erschließen sind. Der Ministerratsbeschluss zur Nahverkehrsfinanzierung Ende 1976 beinhaltete die so genannte „Nahverkehrsmilliarde“, die durch die neu eingeführte Bundeskraftfahrzeugsteuer gedeckt wurde. 60% dieser Milliarde gingen an den Nahverkehr der ÖBB, 25% an den Bau der Wiener U-Bahn und 15% an sonstige elektrisch betriebene Nahverkehrsmittel. (Rollinger, Emberger, & Brezina, 2009, S. 25).

In der letzten von Künne genannten Phase findet ein *Wertewandel* statt. Die Umweltverträglichkeit der Verkehrsträger sowie die Verkehrssicherheit rückten in den Vordergrund. In diese Phase fällt das Aufkommen der Grün-Bewegungen in der Mitte der Achtziger Jahre. In Deutschland werden erstmals Ziele zur Limitierung der Kohlendioxidemissionen formuliert. Ein Umdenken findet statt, die Umwelt wird als schützenswert angesehen und erhält auch politische Deckung.

2.1.3 Aufkommen der Verkehrsverbünde

Trotz des Wertewandels und des Aufkommens grüner Ideologie stagnierten die Passagierzahlen gemäß Pucher & Kurth (1996, S. 280) im ÖPNV in deutschsprachigen Großstädten bis in die 1980er Jahre. Das fehlende integrierte Tarifsystem, das Fehlen zeitgemäßer und flexibler Fahrgastinformation sowie die mangelnde Fahrplankoordinierung zwischen den verschiedenen in einer Region tätigen Verkehrsbetrieben führte trotz des eingangs genannten *Wertewandels* zu diesem Rückgang. Der erste Verkehrsverbund wurde 1965 in Hamburg gegründet (Rollinger, Emberger, & Brezina, 2009, S. 186).

Ein Verkehrsverbund ist in Österreich eine kooperative, privatrechtliche Institution als vermittelnde Instanz zwischen Gebietskörperschaften und Verkehrsunternehmen. Sie sind im §4 des ÖPNRV-G (Öffentlicher Personennah- und Regionalverkehrsgesetz 1999) verankert:

§ 4. Verkehrsverbünde sind Kooperationsformen von Verkehrsunternehmen zur Optimierung des Gesamtangebotes des öffentlichen Personennah- und Regionalverkehrs im Interesse der Sicherstellung der Benutzung unterschiedlicher öffentlicher Verkehrsmittel auf Grund eines Gemeinschaftstarifes. Zur Erreichung dieser Zielsetzungen ist die Zusammenarbeit mit einer Verkehrsverbundorganisationsgesellschaft im Sinne des § 17 erforderlich.

Dieser Paragraph enthält den Grundsatz eines Verkehrsverbundes: die Optimierung des Gesamtangebots aufgrund eines Gemeinschaftstarifs. Weiters soll ein Verkehrsverbund abgestimmte Fahrpläne, einheitliche Fahrgastinformationen und die – vom Verkehrsunternehmen unabhängige – Anschlussicherung gewährleisten (Rollinger, Emberger, & Brezina, 2009, S. 187ff).

Bis 1997 wurden alle Verkehrsgesellschaften in Österreich in Verkehrsverbünde integriert, womit Österreichs ÖPNV seither flächendeckend von Verkehrsverbänden bestellt und organisiert wird. Abbildung 1 zeigt die Aufteilung der Verkehrsverbünde in Österreich. Die Verbundgrenzen werden durch die Landesgrenzen bestimmt, die Ausnahme bilden Wien, Niederösterreich und das Burgenland.

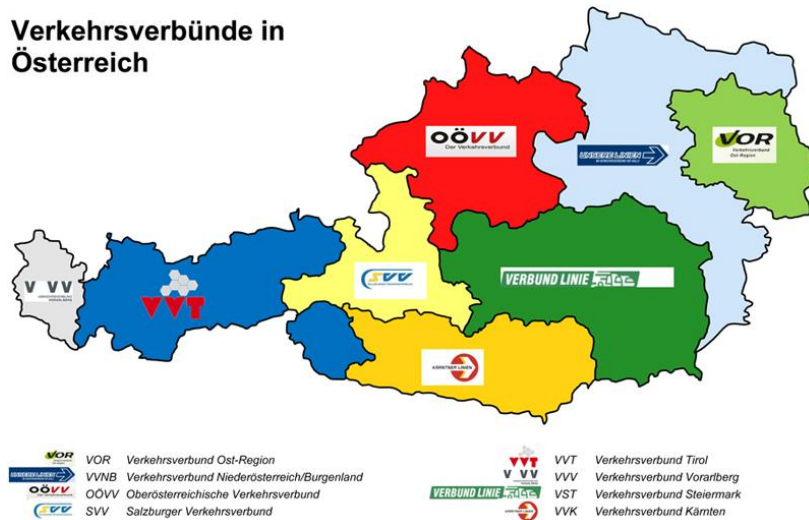


Abbildung 1: Verkehrsverbände in Österreich. Quelle: (BmVit, 2013)

Pucher & Kurth (1996, S. 290) belegen in einer in fünf deutschsprachigen Verkehrsverbänden durchgeführten Studie, dass Verkehrsverbände zu einem nachhaltiges Wachstum bei Passagierzahlen führten. Entgegen dem Trend konnte eine Verlagerung von Wegen vom MIV zum ÖPNV erreicht werden.

2.2 Wechselwirkung von Raum- und Verkehrsplanung

Verkehrsplanung und Stadtplanung (bzw. Raumplanung) beeinflussen einander wechselseitig. Einerseits führen nach Holz-Rau & Scheiner (2005, S. 67ff) demografische Unterschiede bzw. unterschiedliche Vorlieben verschiedener Bevölkerungsgruppen zu verschiedenen Prioritäten in der Wohnortwahl. Auf der anderen Seite definieren geschichtlich gewachsene Verkehrsachsen und die punkt- und linienförmige Erschließung von suburbanen Gebieten zur Ausprägung verschieden dichter Strukturen mit entsprechendem Mobilitätsverhalten. Die Raumwirksamkeit unterschiedlicher Verkehrsmittel ist laut Knoflacher (Verkehrsplanung für den Menschen, 1987, S. 79) das Verhältnis zwischen Dimension der Strukturen und der Reisegeschwindigkeit. Abbildung 2 zeigt, dass dieses Verhältnis unabhängig von der Wahl des Verkehrsträgers konstant ist, somit ein Anstieg der Reisegeschwindigkeit lediglich zur Zersiedelung führt, anstatt Zeitersparnis zu liefern. Der Radfahrverkehr bildet hierbei die Ausnahme, da er weitgehend die dörflichen Strukturen der Fußgänger nutzt, jedoch eine höhere Reisegeschwindigkeit aufweist.

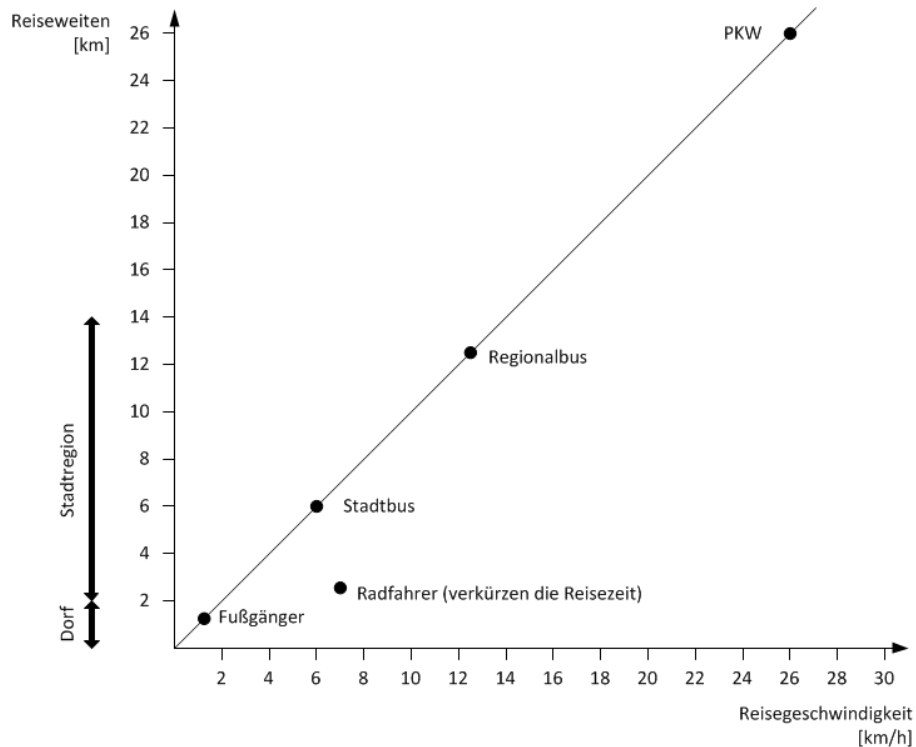


Abbildung 2: Raumwirksamkeit der Verkehrsmittel; Daten
Quelle: (Knoflacher, Verkehrsplanung für den Menschen, 1987)

2.3 Kennwerte urbaner Mobilität

2.3.1 Definition der Mobilität – Mobilitätsrate

Um Besonderheiten der urbanen Mobilität zu spezifizieren und von den Eigenheiten allgemeiner oder ländlicher Mobilität zu differenzieren, wird der Begriff zunächst definiert. Dazu wird die laut Knoflacher (Zur Harmonie von Stadt und Verkehr, 1996, S. 24) in der Mobilitätsforschung vorherrschende Definition für Mobilität verwendet:

Mobilität oder die *Mobilitätsrate* ist demnach die „Zahl der zurückgelegten Wege pro Person und Tag“.

Veränderungen oder Trends der Mobilitätsrate sind auf soziodemographische und strukturelle Veränderungen zurückzuführen. Soziodemographisch bedeutet hierbei vordergründig den Trend zu weniger Personen pro Haushalt, was zu mehr Wegen pro Person führt. Strukturelle Veränderungen, die eine erhöhte Mobilitätsrate zur Folge haben, sind die Zentralisierung von Arbeitsplätzen sowie die Verringerung der Nahversorgung – laut Knoflacher (Zur Harmonie von Stadt und Verkehr, 1996, S. 87) das Fehlen verantwortungsvoller Stadtentwicklung. Die Mobilitätsrate ist somit unabhängig von der Verkehrsmittelwahl und hat sich am Beispiel England in den vergangenen 30 Jahren nicht signifikant geändert (Abbildung 3):

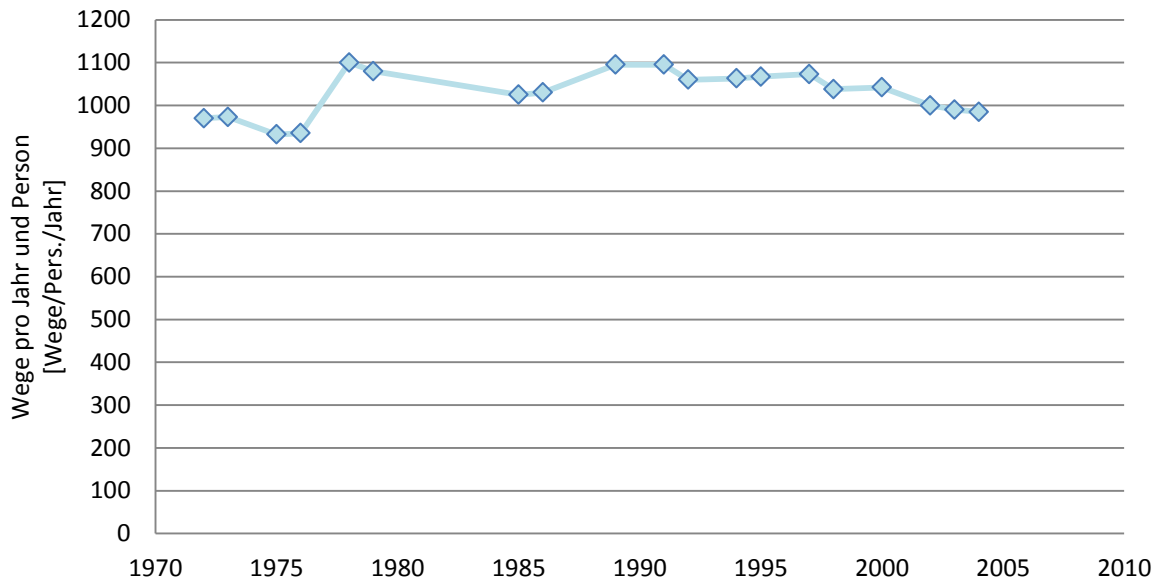


Abbildung 3: Entwicklung der Wegezahzahl im United Kingdom. Quelle: (Rollinger, Emberger, & Brezina, 2009)

Auch eine Differenzierung der Mobilitätsrate nach Größe des untersuchten Siedlungsgebietes ergibt keine signifikanten Unterschiede, wenngleich die Wegezahzahl im ländlichen Bereich etwas geringer ist als in Kerngebieten (Abbildung 4). Zusammenfassend liegt die Mobilitätsrate in Österreich im Schnitt bei rund 3 Wegen pro Person und Tag, beziehungsweise 3,5 Wege pro mobiler Person und Tag. (Rollinger, Emberger, & Brezina, 2009, S. 52) Unter mobilen Personen werden hierbei all jene verstanden, die im Laufe des Tages ihre Wohnstätte mindestens einmal verlassen haben und somit mobil waren.

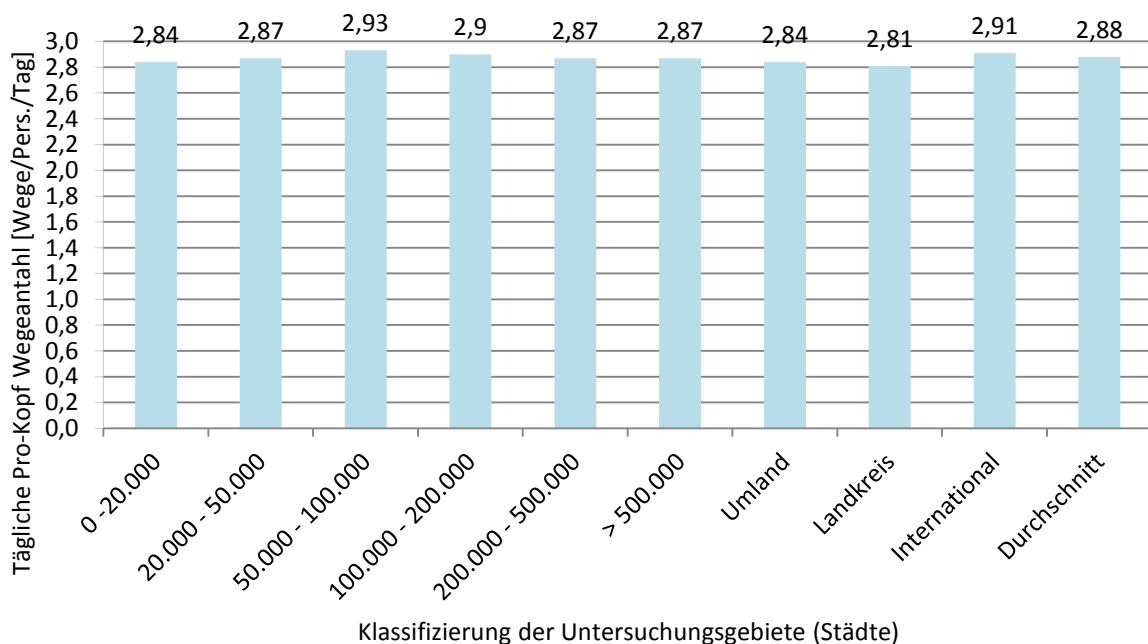


Abbildung 4: Mobilitätsrate nach Siedlungsgröße. Quelle: (Socialdata, 2013)

Eine Aufschlüsselung der Mobilitätsrate nach österreichischen Bundesländern zeigt ein homogenes Bild, wobei die letzte flächendeckende Mobilitätserhebung in Österreich 1995 stattfand; neuere Datensätze sind von Erhebungen in einzelnen Bundesländern vorhanden. Auffällig dabei ist, dass in Oberösterreich die durchschnittliche Zahl der Wege von vormals 3,8 Wegen pro mobile Person 1995 auf 3,0 Wege 2001 gesunken ist. Ansonsten sind bei Vergleichen der Mobilitätserhebung 1995 und späteren Untersuchungen keine signifikanten Änderungen in der Mobilitätsrate feststellbar (siehe Abbildung 5).

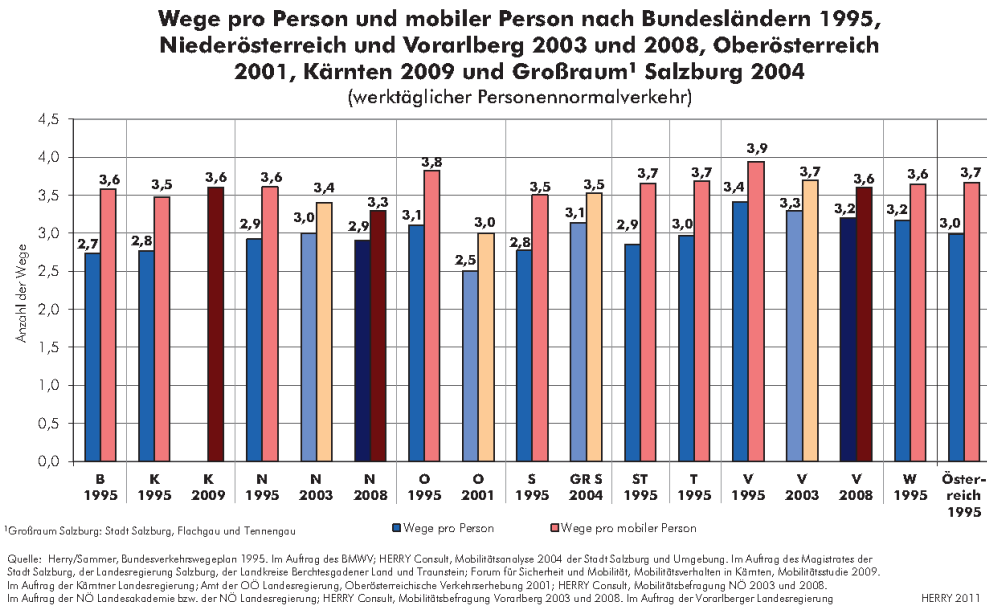


Abbildung 5: Mobilitätsrate nach Bundesländern (Blau-Schattierungen stellen Wege/Person dar, Rot-Schattierungen Wege/ mobiler Person). Quelle: (Herry Consult GmbH, 2012)

2.3.2 Mobilitätszeitbudget und Tageswegedauer

Das durchschnittliche tägliche Mobilitätszeitbudget ist als Zeit zu sehen, die ein Mensch für die Absolvierung seiner Mobilitätsrate aufwendet. Diese blieb über die letzten Jahrzehnte weitgehend konstant, unabhängig von Motorisierungsgrad oder Verkehrsaufteilung. International betrachtet stellt sich heraus, dass das Mobilitätszeitbudget unabhängig vom Bruttoinlandsprodukt des betrachteten Landes zwischen 60 und 80 Minuten pro Tag liegt. Das tägliche Mobilitätszeitbudget wird daher in der Mobilitätsforschung – analog zur Mobilitätsrate – als konstant gesehen. In Österreich lag gemäß Herry (2012, S. 97) die durchschnittliche Tageswegedauer 1995 bei 70 Minuten pro Person und Tag und legte bis 2008 nur marginal auf 72 Minuten pro Person und Tag zu.

Eine differenzierte Betrachtung des täglichen Tageswegedauer in Österreich nach Bundesländern zeigt sowohl über die verschiedenen Untersuchungsgebiete als auch über die Zeit im Durchschnitt keine signifikanten Veränderungen, wobei – wenn vorhanden – in neueren Erhebungen eine Annäherung der Tageswegedauer von weiblichen und männlichen Verkehrsteilnehmern festzustellen ist. Nach Schirmer (2001, S. 17) ist bei nicht erwerbstätigen weiblichen bzw. männlichen Verkehrsteilnehmern kein Unterschied im Mobilitätsverhalten festzustellen, unter den Erwerbstätigen benutzen männliche Verkehrsteilnehmer das Auto jedoch weit häufiger als weibliche. Die Annäherung der Tageswegedauern ist mit dem steigenden Beschäftigungsgrad der weiblichen Bevölkerung zu begründen. Aufgrund der laut Guss, Heimgartner & Kral (2007, S. 11) höheren

Reisegeschwindigkeit des MIV und des weitestgehend konstanten Mobilitätszeitbudgets ist die durchschnittliche Wegelänge kontinuierlich gestiegen.

2.3.3 Wegelänge und Tagesreiseweite

Aufgrund der beiden Konstanten (Mobilitätsrate und Mobilitätszeitbudget) führen über die Jahre steigende Reisegeschwindigkeiten diverser Verkehrsträger naturgemäß zu einem stetigen Anstieg der durchschnittlichen Wegelängen sowie der kumulierten Tagesreiseweite. Die Erhöhung der Reisegeschwindigkeit hat raumstrukturelle Effekte zur Folge: Eine räumliche Ausdehnung der Randgebiete von Siedlungen, ohne Konzentrierung auf Achsen, begünstigt den MIV. Sogenannte „Randwanderer“ (Holz-Rau & Scheiner, 2005, S. 70) tauschen die Erreichbarkeit in der Nähe gegen günstigere Grundpreise, verbunden mit niedrigerer Erreichbarkeit und längeren Reiseweiten.

Mit steigendem Motorisierungsgrad und nachfrageorientierten Investitionsmaßnahmen in den Straßenverkehr stieg die durchschnittliche tägliche Pro-Kopf-Reiseweite in Österreich über die Jahrzehnte stetig an. (Rollinger, Emberger, & Brezina, 2009, S. 53)

2.3.4 Motorisierungsgrad

Der Motorisierungsgrad gibt das Verhältnis von angemeldeten Kraftfahrzeugen im Verhältnis zu Einwohnern an. Die Maßeinheit ist meist PKW/1000 Einwohner (siehe Abbildung 6). Wie auch im übrigen Europa, stieg der Motorisierungsgrad in Österreich seit den 1960er Jahren drastisch an; kamen 1965 auf 1000 Einwohner noch 109 PKW, so stieg er bis 2009 auf 522 PKW. Grund dafür ist der nachfrageorientierte Ausbau des mittel- und höherrangigen Straßennetzes zu dieser Zeit (Steininger, 2008, S. 77ff). Der Motorisierungsgrad ist weiter am Steigen, lediglich in Wien konnte im Zeitraum 2005 bis 2009 ein Rückgang von 2,4% beobachtet werden (Herry Consult GmbH, 2012, S. 83).

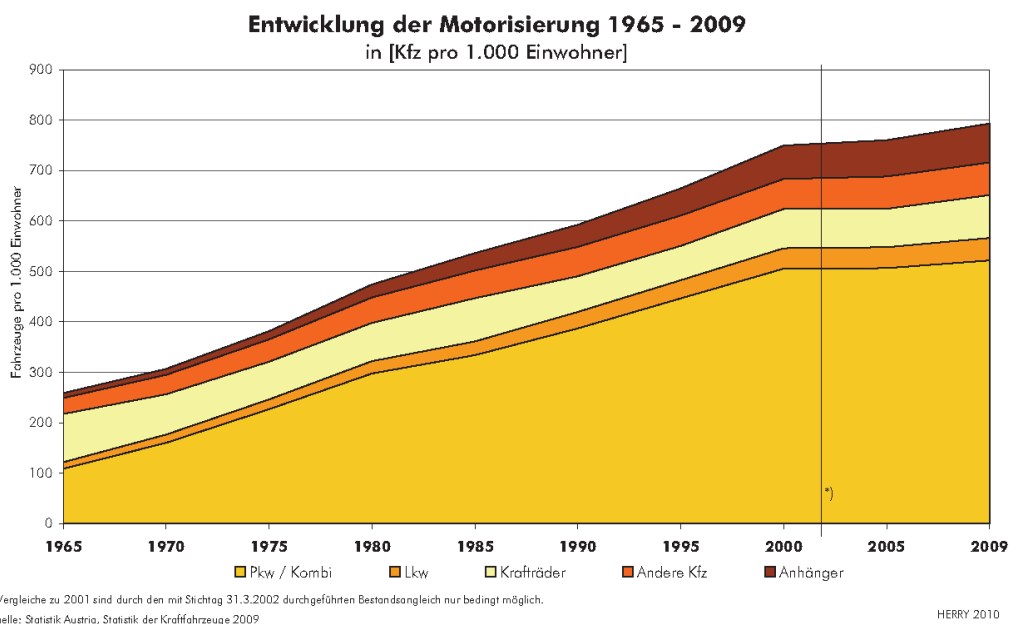


Abbildung 6: Entwicklung Motorisierungsgrad.
Quelle: (Herry Consult GmbH, 2012)

2.3.5 Modal Split

Der Modal Split wird häufig als Überblicksgröße zur Beurteilung des betrachteten Verkehrsgeschehens herangezogen. Er gibt die Anteile der einzelnen Verkehrsträger an den Gesamtwegen der Bevölkerung an. In der Vergangenheit wurde der NMIV oft nicht berücksichtigt, während heutzutage nach ÖPNV, MIV und NMIV unterschieden wird

Die Einflussfaktoren auf den Modal Split sind vielfältig. Erwiesenermaßen haben laut Santos, Maoh, Potoglou & von Brunn (2013, S. 135ff) Motorisierungsgrad und Parkraumbewirtschaftung, Ticketpreise, Einkommen, Alter, Haushaltsgröße, Wegelänge und die Landnutzung direkten Einfluss auf die Entwicklung des Modal Split. Parry & Small (2009, S. 21) sehen eine direkte Verbindung zwischen Subventionen für den ÖPNV aus öffentlicher Hand und dem Anstieg ihres Modal Split Anteils. Das heißt: der Modal Split ist von einer Vielzahl an unterschiedlichen Faktoren abhängig.

In den letzten Jahren hat sich der Modal Split in Österreich gemäß Rollinger, Emberger, & Brezina (2009, S. 48) in Richtung MIV entwickelt. Grundsätzlich ist jedoch erkennbar, dass in Großstadträumen der MIV-Anteil relativ gesehen abnimmt, während in ländlichen Regionen der MIV nach wie vor dominant ist (siehe Abbildung 7). Insgesamt haben große Siedlungsräume, aufgrund oben genannter Faktoren, die größten Chancen auf einen steigenden Anteil des Umweltverbundes (ÖPNV & NMIV).

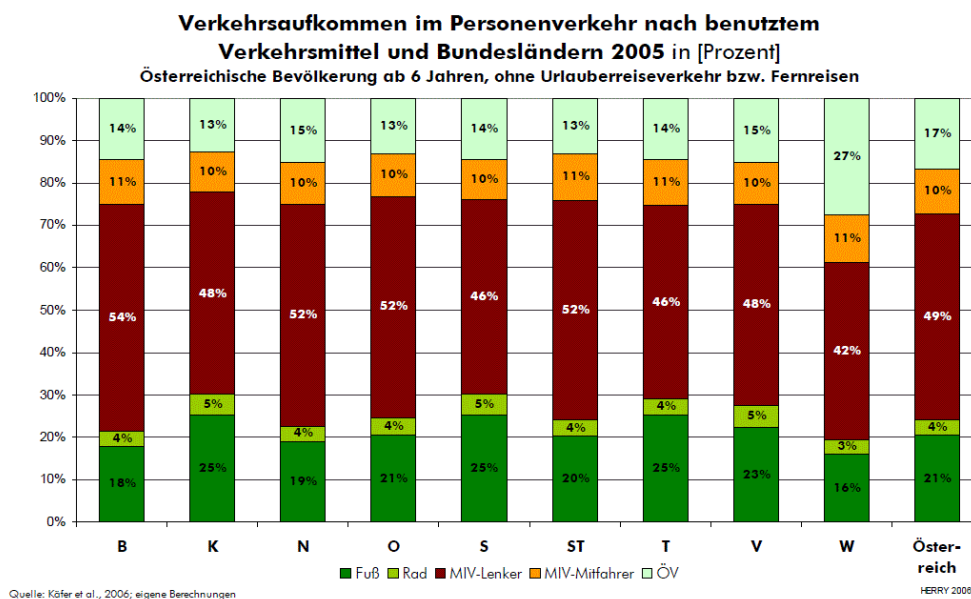


Abbildung 93: Verkehrsaufkommen im Personenverkehr nach benutztem Verkehrsmittel und Bundesländern 2005

Abbildung 7: Modal Split nach Bundesländern. Quelle: (Herry Consult GmbH, 2012)

2.4 Trends und Visionen im ÖPNV

Die weitere Entwicklung des ÖPNV ist untrennbar mit den künftigen Leitbildern in der Stadtplanung verbunden. Allerdings steht die Stadtplanung vor dem Problem, kein allgemein gültiges, konsistentes Leitbild zur Verfügung zu haben. Dies stellt einen unauflösbaren Grundkonflikt in der Stadtentwicklung dar, wobei der Spielraum aufgrund laut Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 36) sinkender zu erwartender finanzieller Mittel zusehends eingeengt wird. Rollinger, Emberger &

Brezina (2009, S. 255ff) führen Zukunftstrends an, die direkten Einfluss auf die künftige Entwicklung des ÖPNV haben und erläutern diese in folgenden Kategorien:

- *Demographische Entwicklung:*
Das Bevölkerungswachstum verlangsamt sich, dieser Trend wird weiter anhalten. Die Bevölkerung wird im Durchschnitt immer älter, und die regionalen Unterschiede in der Altersstruktur werden tendenziell größer.
- *Verkehrspolitische Trends:*
Das zunehmende Verkehrsaufkommen (aufgrund längerer Wegelängen) und die begrenzten Ausbaumöglichkeiten werden die Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage an Verkehrsflächen weiter wachsen lassen. Es werden weitere Finanzierungsengpässe auftreten, und der ÖPNV muss sich somit gegenüber anderen gesellschaftlichen Ansprüchen durchsetzen. Ein organisiertes, umweltfreundliches ÖPNV System wird in der Wissenschaft und somit auch in der politischen Debatte weiter an Bedeutung gewinnen.
- *Trends in der Bevölkerungs- und Strukturentwicklung:*
Die regionale Entwicklung wird die allgemeine durchschnittliche Änderung der Altersstruktur überlagern. Die Stadtentwicklung wird sich auf verkehrsgünstige Lagen entlang von Hauptverkehrsachsen konzentrieren, während die Suburbanisierung den ÖPNV benachteiligt. Zentren im Allgemeinen werden an Bedeutung gewinnen, und deren Erreichbarkeit wird ein unverzichtbarer Schlüssel zum Erfolg des ÖPNV.
- *Trends der künftigen Mobilität:*
Analog zur Strukturentwicklung werden Fahrten in die Zentren anteilmäßig zunehmen. Mobilitätsteilnehmer werden weiterhin aus verschiedenen Verkehrsmitteln wählen können, wodurch Fahrten mit Zwangscharakter abnehmen und solche mit Wahlcharakter zunehmen werden. Die PKW-Verfügbarkeit wird weiter steigen. Mit steigender PKW-Verfügbarkeit sinkt die Notwendigkeit, den ÖPNV zu benutzen.
- *Trends in der Angebotsgestaltung im ÖV:*
Generell wird eine größere Angebotsdifferenzierung entsprechend der Nachfrage erwartet. In großen Siedlungsräumen und entlang verdichteter Achsen ist eine Zunahme des Angebots anzunehmen, während im ländlichen Raum aus wirtschaftlichen Gründen eine Reduktion des Angebots möglich erscheint. Kooperationen zwischen Verkehrsunternehmen werden zu optimierter Anschlusssicherung sowie einem geänderten Kundenverständnis führen.
- *Trends der Fahrgastanforderungen an die Angebote:*
Weiterhin wird der private PKW als Referenz im Qualitätsvergleich der Verkehrsmittel gelten, während die Ansprüche der Fahrgäste hinsichtlich Qualität und Information steigen. So genannte „Softfacts“ (nicht quantifizierbare, qualitative Merkmale) wie Erscheinungsbild und Design spielen dabei eine immer größere Rolle. Während die Komplexität des ÖPNV aufgrund der steigenden Zahl an Schnittstellen zwischen Verkehrssystemen weiter zunehmen wird, sieht der Fahrgast diesen als Gesamtsystem und stellt Ansprüche wie Barrierefreiheit (auf verschiedensten Ebenen), Sicherheit und Einfachheit in der Handhabung.

- *Trends der technologischen Entwicklung:*

Der Stellenwert technologischer Hilfsmittel auf Anbieter- und Fahrgastseite wird weiter steigen, wobei von diesen Technologien Ausgeschlossene diese als Barrieren wahrnehmen werden. Innovationszyklen im ÖPNV werden kürzer und kundenorientierter. Dies gilt für die Fahrzeugentwicklung, die Telematik und die Antriebstechnologie. Insgesamt wird erwartet, dass externe Effekte (Effekte auf Dritte) und Umweltschutz mehr Bedeutung in der technologischen Entwicklung erlangen.

Die Visionen im ÖPNV sind laut Rollinger, Emberger & Brezina (2009, S. 255ff) eine Reaktion auf die eben genannten Trends. Eine verbesserte Qualität im ÖPNV, samt steigender Kundenfreundlichkeit, würde das Bestehen des ÖPNV im freien Wettbewerb ermöglichen. Der ÖPNV soll Teil eines integrierten Verkehrssystems werden, Synergien der Vorteile von ÖPNV und MIV sollen identifiziert und gefördert werden. Siedlungsplanung und Verkehrsplanung sollen als Einheit betrachtet und Verkehrsströme so besser beherrscht und vorhergesagt werden.

Der Gesamtverkehrsplan des Bundesministeriums für Verkehr, Infrastruktur und Technologie (BmVIT, 2012) sieht konkret die Schaffung eines österreichweiten Taktfahrplanes, ausgehend vom Fernverkehr bis hin zum flächenerschließenden Verkehr, vor. Die Grundversorgung aller Regionen durch ÖPNV soll gewährleistet werden. Barrierefreiheit, ein Angebot, das sich direkt an den Kundenwünschen orientiert, sowie umfangreiche Information für den Fahrgast sollen implementiert werden, während die Preise für die ÖPNV-Nutzung für den Großteil der Bevölkerung leistbar bleibt.

Nach der geschichtlichen Entwicklung der Verkehrsplanung, der Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Raum- und Verkehrsplanung, Definition der maßgebenden Kennwerte und einem Ausblick in die Zukunft des ÖPNV widmet sich, darauf aufbauend, das nächste Kapitel der Netzgestaltung im ÖPNV.

3 Netzgestaltung im urbanen öffentlichen Nahverkehr

Im folgenden Kapitel werden, aufbauend auf den grundlegenden Merkmalen des ÖPNV, die Netzgestaltung und deren Einflüsse beleuchtet. Es wird gezeigt, dass die Netzgestaltung und die Systemwahl im ÖPNV in untrennbarem, wechselseitigen Einfluss zueinander stehen. Neben Netzformen und deren Organisationsstrukturen werden auch Linienformen dargestellt, die eine weitere Spezifizierung des Untersuchungsgebietes für die weitere Arbeit beinhalten.

Die Netzgestaltung im urbanen ÖPNV hat zum Ziel, mit den vorgesehenen Ressourcen und Verkehrsträgern ein Streckennetz festzulegen, das bestimmten betrieblichen und verkehrlichen Anforderungen genügt. Zudem muss es auf die – durch die räumliche Struktur der Siedlung bedingten – Verkehrsbedürfnisse eingehen (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 606). Weiter präzisiert werden die Ziele von Rollinger, Emberger & Brezina (2009, S. 59ff), die folgende drei Bedingungen an ein öffentliches Verkehrsnetz stellen:

- *Die Summe der Reisezeiten aller Fahrten im Netz soll ein Minimum sein.*
- *Die Summe aller Umsteigvorgänge innerhalb der Reise soll ein Minimum sein.*
- *Die Summe aller Wagen-km soll ein Minimum sein.*

In europäischen Städten wird die Netzgestaltung zudem von bestehender Infrastruktur beeinflusst. Bestehende Infrastruktur zu verändern bedeutet in der Regel große Ausgaben, wohingegen neu implementierte Verkehrssysteme besser an gegenwärtige Anforderungen angepasst werden können (Koch & Grein, 2013, S. 9ff).

In weiterer Folge werden Einflussfaktoren auf die Netzgestaltung beleuchtet und in Kategorien eingeteilt.

3.1 Einflüsse auf die Netzgestaltung

3.1.1 Nachfrageorientierte Faktoren

Nachfrageorientierte Einflussfaktoren folgen unmittelbar aus bekannter bzw. prognostizierter Verkehrsnachfrage (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 607). Die Stärke und Struktur der Nachfrage ist im Allgemeinen abhängig von Siedlungsdichte und –größe.

Die Siedlungsdichte steht in Österreich, abgesehen vom spezifischen Verkehrsaufkommen, in wechselseitiger Beziehung zur Haltestellennetzdichte. Die Haltestellennetzdichte ist ihrerseits abhängig vom dazugehörigen Fußweg und in dünner Besiedelung mit rund 700m – 1000m zu wählen. In dichter Besiedelung ist ein maximaler Fußweg von 500m zu gewährleisten (Rollinger, Emberger, & Brezina, 2009, S. 60). Dies sind jedoch lediglich Kenngrößen und bedürfen im konkreten Planungsfall eingehender Nachfrageerhebungen sowie Prognosen. Prognosen der Nachfrage bilden eine Grundlage der Netzgestaltung, auf ihre Methoden wird in dieser Arbeit jedoch nicht näher eingegangen. Quantitative Nachfragedaten bilden die räumliche Verteilung der Nutzungen und deren zu erwartende Entwicklung ab (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 607).

Die Siedlungsgröße bestimmt den Typ und die Komplexität in der Netzgestaltung. Während kleine Siedlungen bis 100.000 im Allgemeinen Einwohner von direkten Verbindungen und gemeinsamer Nutzung der Verkehrsflächen von ÖPNV und IV ausgehen, werden Liniennetze in einer Großstadt, die

laut Statistik Austria (2013) als ein urbaner Raum mit einer Einwohnerzahl im Kerngebiet von über 100.000 und unter 1.000.000 definiert ist, in ein übergeordnetes und ein flächenerschließendes Verkehrsnetz gegliedert (Vuchic, 2007, S. 55). Das flächenerschließende Netz, in der Regel durch Busse bedient, dient als Zubringer für das übergeordnete Netz. Das übergeordnete Netz wird seinerseits aus Stammlinien mit Verkehrsträgern großer Leistungsfähigkeit (LF) bedient (Örn, 2005, S. 47ff). Als Stammlinien werden Linien des übergeordneten *Primärnetzes* (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 612) entlang der Hauptverkehrsachsen bezeichnet. Abbildung 8 stellt schematisch ein solches ÖPNV-Netz dar.

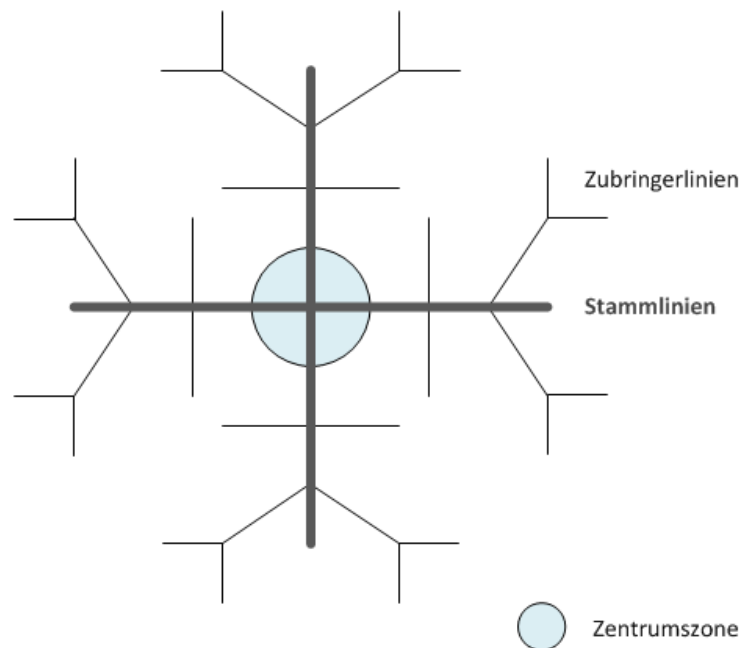


Abbildung 8: Netzwerk aus Stamm- und Zubringerlinien

3.1.2 Technische und betriebswirtschaftliche Faktoren

Technische Einflüsse auf die Netzgestaltung im ÖPNV hängen von den eingesetzten Verkehrssystemen ab. So werden auf Zubringerlinien in der Flächenerschließung aufgrund geringer Investitionskosten bei geringem Verkehrsaufkommen in der Regel Busse eingesetzt, während im übergeordneten Netz, auf Stammlinien, laut Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 606) eine Vielzahl an Verkehrssystemen in Frage kommt. In weiterer Folge dieser Arbeit werden mögliche Entscheidungskriterien für die Systemwahl im übergeordneten Netz beleuchtet. Einerseits sind diese bestimmt durch technische Randbedingungen und Systemgrenzen der einzelnen Verkehrssysteme, andererseits spielen fahrgastpsychologische und externe Effekte auf Dritte eine Rolle.

3.1.3 Faktoren im Interesse der Allgemeinheit

Oft ist die – durch die Systemwahl und die ideale Netzgestaltung – präferierte Trasse im urbanen ÖPNV aufgrund von einzelnen Anrainern nicht durchsetzbar. Besonders in dichtbesiedelten Gebieten sind oft Kompromisse in der Trassenwahl zu treffen, um das Recht einzelner zu schützen (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 608). Weiters beeinflusst politisches Kalkül die Netzgestaltung, da ein Großteil der Entscheidungen im ÖPNV letztlich von Politikern getroffen wird (Lönroth, 2005, S. 262).

3.1.4 Organisationsstruktur

Die Organisationsstruktur der ÖPNV-Netz-Bedienung bildet einen weiteren Einfluss auf die Netzgestaltung. Örn (2005, S. 46) unterscheidet zwischen zwei Kategorien:

Auf der einen Seite steht die Organisationsstruktur des Betreibers. In den meisten europäischen Städten bedient eine Betreibergesellschaft das ganze ÖPNV-Netz und besitzt somit ein Monopol. In Europa ist diese Struktur am weitesten verbreitet (siehe Abbildung 9). In anderen Städten, vor allem im asiatischen Raum, werden Konzessionen an verschiedene, zueinander im Wettbewerb stehende Verkehrsbetriebe vergeben. Dies trifft jedoch noch keine Aussage über die Netzgestaltung per se. Bis 2019 wird EU-weit die Liberalisierung des ÖPNV vorangetrieben, womit bisherige Monopole aufgebrochen werden (Stadt Wien, 2013).

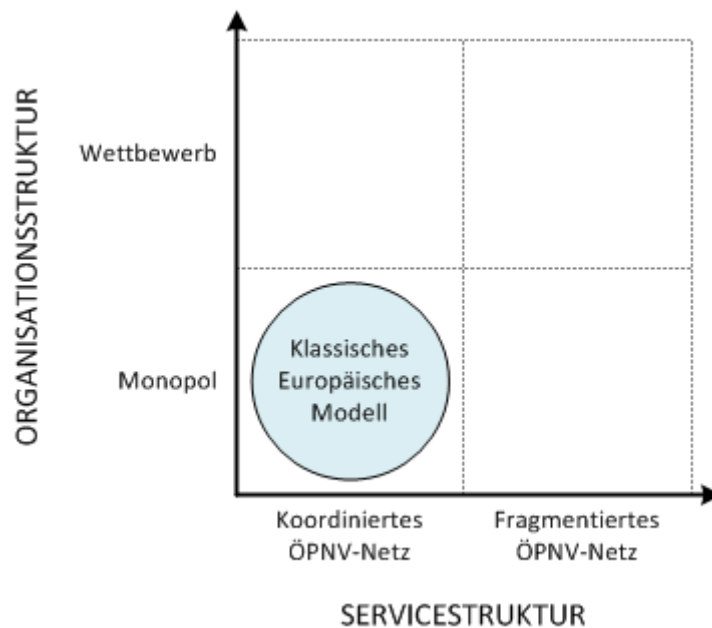


Abbildung 9: ÖPNV-Struktur in Europa

Auf der anderen Seite steht die Servicestructur im ÖPNV, in der es entweder ein koordiniertes, integriertes Netzwerk gibt, in dem verkehrliche Aufgaben klar definiert sind. So dienen Verkehrssysteme mit hoher LF als Stammlinien, Buslinien übernehmen die Flächenerschließung und dienen als Zubringerlinien. In einem fragmentierten Netzwerk, das in der Regel nur im Wettbewerb entstehen kann, betreiben verschiedene Verkehrsbetriebe ihre eigenen Netze, die untereinander wenig koordiniert sind. Abbildung 10 zeigt die verschiedenen ÖPNV-Strukturen mit Beispielstädten. Da in Europa, besonders in Österreich, das Monopol im koordinierten ÖPNV-Netz vorherrscht, und sämtliche Fallbeispiele dieser Struktur entsprechen, wird in weiterer Folge der Arbeit nur dieses Modell untersucht.

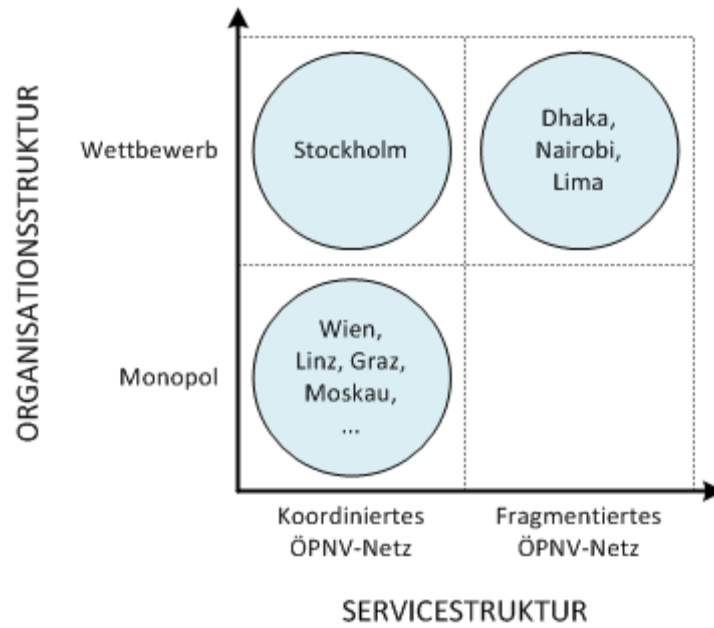


Abbildung 10: Beispiele für ÖPNV-Strukturen

3.2 Linienformen

Um den Zielen der Netzgestaltung gerecht zu werden, Umsteigevorgänge, Reisezeiten und Fahrzeugkilometer zu minimieren, muss ein Netzwerk aus einzelnen, diesen Anforderungen nachkommenden Linien geformt werden. Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 610) unterscheiden folgende – in Abbildung 11 graphisch dargestellte – Linienformen:

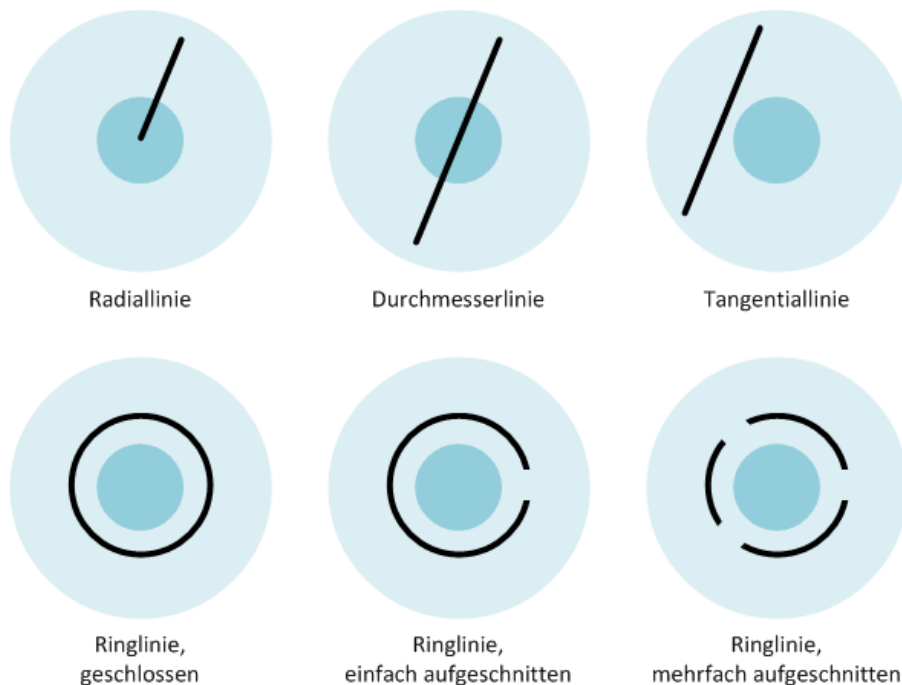


Abbildung 11: Linienformen schematisch

3.2.1 Radiallinien

Radial- oder Halbmesserlinien dienen der Verbindung des zentralen Bereichs eines Ballungsraumes mit der Peripherie. Sie eignen sich besonders in monozentrischen Räumen, in denen Quelle bzw. Ziel in einem zentralen Bereich liegen. Durch das Linienende im zentralen Bereich müssen Wende- und Abstellmöglichkeiten für die eingesetzten Verkehrsmittel vorgehalten werden, welche in engen Innenstadtbereichen oft nicht gegeben sind. Ist ein zentraler Punkt, wie etwa ein Busbahnhof im Zentrum, vorhanden, eignen sich Radiallinien gut zur regionalen Erschließung.

3.2.2 Durchmesserlinien

Durchmesserlinien bieten sich an, wenn Quelle und Ziel nicht ausschließlich im zentralen Bereich liegen, sondern auch Nachfrage nach Zielen außerhalb des zentralen Bereichs besteht, oder wenn im zentralen Bereich kein zentraler Punkt als Umsteigeknoten dient. Durchmesserlinien werden zum Teil auch aus betrieblichen Aspekten Radiallinien gegenüber bevorzugt. Zwar haben Durchmesserlinien in der Regel längere Linienführungen, die zu höherer Störungswahrscheinlichkeit und in weiterer Folge zu höheren Pufferzeiten an den Linienenden führen, jedoch entfallen notwendige Wendemöglichkeit und Abstellplatz des Fahrzeuges im Zentrumsbereich. Ein wirtschaftlicher Betrieb solcher Linien ist nur dann möglich, wenn die jeweiligen Äste der Linie über ein annähernd gleich starkes Verkehrsaufkommen verfügen. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden die möglichen Entscheidungskriterien zur Systemwahl im ÖPNV anhand von Fallbeispielen von Durchmesserlinien veranschaulicht. Diese Linienform bildet im Allgemeinen einen kompletten Querschnitt durch einen Stadtraum, den zentralen Bereich samt Peripherie.

3.2.3 Tangentiallinien, Ringlinien

Tangential- sowie Ringlinien werden in der Regel als Ergänzung bzw. Entlastung zu Radial- und Durchmesserlinien angewendet. Sie werden notwendig, wenn die Umsteigevorgänge im zentralen Bereich aus Platzgründen nicht mehr abgewickelt werden können oder der Umweg für wichtige Relationen dadurch zu groß wird. Tangentiallinien treten oft auf, wo sich außerhalb des zentralen Bereichs neue Siedlungsschwerpunkte bilden. Allerdings muss ein Mindestverkehrsaufkommen zwischen den Bereichen bestehen, um eine solche Linie wirtschaftlich zu führen. Ringlinien stellen eine Weiterentwicklung von Tangentiallinien dar, haben aber Defizite in der Betriebsführung. Um Pufferzeiten und somit lange Wartezeiten der Fahrgäste an einzelnen Stationen mitten im Linienverlauf zu vermeiden, werden in der Praxis häufig „aufgeschnittene“ Ringlinien geplant und somit Endpunkte der Linien eingeführt. Abhängig von der Größe des Ringes ist auch die Aufteilung des Ringes in weitere Linien möglich. Ringlinien kommen meist in der Flächenerschließung in Neubaugebieten zur Anwendung, als konzentrische Ringlinien um den zentralen Bereich verlieren sie aus eben genannten Gründen immer mehr an Bedeutung.

3.3 Netzformen

Aus einer Kombination der verschiedenen Linienformen ergeben sich unterschiedliche Netzformen. In Abbildung 12 sind verschiedene Netze in ihrer Reinform dargestellt. In der Realität werden solche reinen Netze jedoch kaum verwirklicht, es treten in der Regel Mischformen auf. Radialnetze werden oft mit Ringnetzen kombiniert um die Umsteigerelationen und Reisezeiten zu verkürzen. Diese Netze werden in monozentrischen Siedlungsräumen angewendet, wohingegen in polyzentrischen Räumen in der Regel auf Rasternetze zurückgegriffen wird. In Radialnetzen wird der Schnittpunkt der

Durchmesserlinien in der Realität meist auf mehrere Schnittpunkte verteilt, die im zentralen Bereich dadurch ein Rasternetz bilden und die Flächenerschließung dieses Bereichs gewährleisten. Das übergeordnete Verkehrsnetz unterscheidet sich nach Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 612) in seiner Netzform oft vom flächenerschließenden untergeordneten.

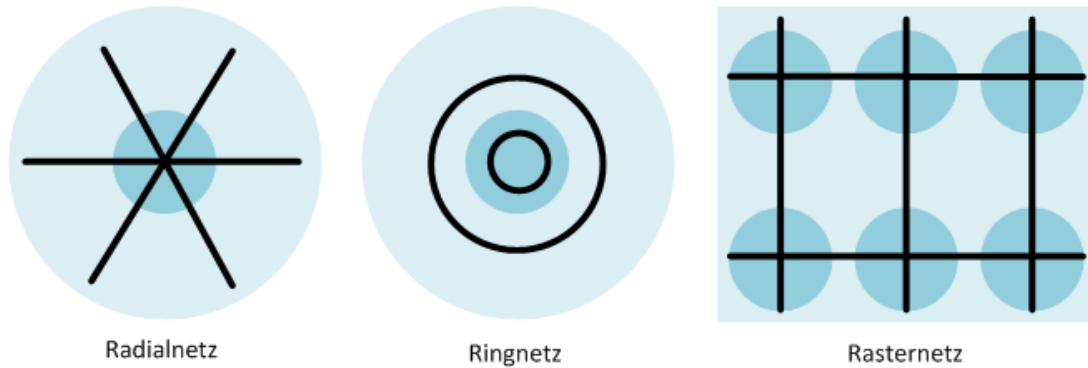


Abbildung 12: Netzformen

In diesem Kapitel wurde die Netzgestaltung im ÖPNV beleuchtet, deren Einflüsse sowie Linien- und Netzformen. Weiter wurde der Untersuchungsrahmen auf Durchmesserlinien im Großstadtbereich eingegrenzt.

4 Überblick über die Verkehrssysteme

Nachfolgend werden zunächst verschiedene Arten vorgestellt, im ÖPNV zur Anwendung kommende Verkehrssysteme nach unterschiedlichen Gesichtspunkten zu klassifizieren, um Gemeinsamkeiten ihrer Eigenschaften aufzuzeigen. Weiters werden verschiedene Verkehrssysteme nach diesen Gesichtspunkten klassifiziert und abschließend in einer Grafik zusammengefasst.

4.1 Arten der Klassifizierung

Um in weiterer Folge Bezug auf mögliche Entscheidungskriterien zur Systemwahl im ÖPNV zu nehmen, bedarf es zunächst einer Klassifizierung der verschiedenen Systeme. Vuchic (2007, S. 45ff) unterscheidet zwischen unterschiedlichen Arten, Verkehrssysteme zu klassifizieren. Die Klassifizierung ist möglich nach:

- Verfügbarkeit
- dem Fahrweg
- Technologien
- verkehrlicher Funktion

4.1.1 Klassifizierung nach Verfügbarkeit

Hier wird unterschieden zwischen privater Nutzung, mietbarer Nutzung (z.B. Taxiverkehr) und öffentlichem Verkehr im herkömmlichen Sinn. Während die private Nutzung den Besitz des jeweiligen Verkehrsmittels voraussetzt, ist die mietbare Nutzung für jeden zugänglich, der die Vereinbarung zum Transport erfüllt. Der sogenannte *Paratransit* umfasst sämtliche bedarfsorientierte Bedienungsformen, vom Taxiverkehr bis hin zum Anruf-Sammel-Taxi. Er kommt bei geringer Verkehrsstärke zur Anwendung und bildet eine Ergänzung zum herkömmlichen ÖPNV. Verschiedene Konzepte hierzu variieren in Bezug auf Fahrplangebundenheit, Haltestellenbedienung und linienförmiger bzw. flächiger Bedienung stark (Rollinger, Emberger, & Brezina, 2009, S. 156ff). Im öffentlichen Verkehr befinden sich all jene fahrplan- und routengebundene Verkehrsmittel, die unabhängig vom momentanen Bedarf verkehren. Sie sind für hohes Verkehrsaufkommen prädestiniert.

Da der Fokus der Arbeit auf die Systemwahl bei Durchmesserlinien im übergeordneten ÖPNV-Netz von Großstädten unter 1 Mio. Einwohner gelegt ist, wird in weiterer Folge ausschließlich auf den herkömmlichen ÖPNV eingegangen.

4.1.2 Klassifizierung nach dem Fahrweg (Right-of-way)

Diese Klassifizierung teilt die Verkehrssysteme in drei Kategorien, A, B und C:

Kategorie C bedeutet, dass sich das jeweilige Verkehrsmittel bei der Bedienung der jeweiligen Linie im Mischverkehr befindet und vom IV nicht separiert ist. In der Regel gilt das für Oberflächenverkehr wie herkömmliche Bus- oder Straßenbahnsysteme.

Der Verkehrsweg in Kategorie B ist longitudinal baulich vom IV getrennt. Dennoch befindet er sich an der Oberfläche und ist demnach nicht kreuzungsfrei. Entgegen der longitudinalen baulichen Trennung sind niveaugleiche Kreuzungen mit anderen Verkehrsträgern üblich. Verkehrswege nach Kategorie B sind heutzutage bei Straßenbahnneubauten und *Light Rail Transit* (LRT, Stadtbahnsystem) Systemen sowie *Bus Rapid Transit* (BRT, Schnellbussystem) Systemen üblich. Ein Mischbetrieb der Kategorien B und C im Verlauf einer Linie ist möglich.

Kategorie A bedeutet eine vollständige Trennung vom Oberflächenverkehr. Das bedeutet, der Fahrweg ist nicht nur longitudinal baulich getrennt, auch Kreuzungen sind niveaufrei ausgeführt. Diverse schienengebundene Verkehrsmittel wie U-Bahnen sind in Kategorie A einzuordnen, die – dank fehlender Einflüsse durch andere Verkehrssysteme – eine hohe LF ermöglicht.

4.1.3 Klassifizierung nach Technologien

Hierbei wird zwischen Verkehrsmitteln aufgrund ihrer technologischen Merkmale unterschieden wie folgt:

Der *Fahrweg* ermöglicht die Übertragung der Traktion des Fahrzeuges auf den Untergrund. Gängige Formen sind gummiereifte Fahrzeuge auf befestigtem Untergrund sowie das Rad-Schiene-System. Während gummiereifte Fahrzeuge in der Regel mehr Traktion aufbringen können, ermöglicht das Rad-Schiene-System größere Achslasten und geringeren Rollwiderstand. Beide Systeme werden von äußeren Witterungsverhältnissen beeinflusst (Wang, et al., 2011, S. 2703). Ausnahmen stellen Verkehrssysteme mit Linearantrieben dar, deren Fahrwege auch als Antrieb dienen. Dazu zählen Magnetschwebbahnen und Seilbahnen. Diese erlangten zunächst in Schigebieten Bedeutung, werden aber in den letzten Jahren zusehends auch im urbanen ÖPNV eingesetzt (Alshalalfah & Shalaby, 2010, S. 3). Besonders in südamerikanischen Städten wie Caracas, Venezuela und Medellín (Kolumbien) finden Seilbahnen im ÖPNV Verwendung.

Verschiedene Arten der *Spurführung* stellen ein weiteres technologisches Unterscheidungsmerkmal dar. Sind Busse in der Regel manuell gesteuert, während Schienenfahrzeuge auf Gleisen verkehren, so gibt es eine Vielzahl an Technologien, deren Ziel es ist, Vorteile von Bahn und Bus zu kombinieren. Der Oberleitungsbus (O-Bus), der auch in Österreich in Linz und Salzburg eingesetzt wird, verfügt über einen elektrischen Antrieb, ist zur Stromversorgung an eine Oberleitung gebunden, aber trotzdem manuell zu lenken. Vor allem in Frankreich existieren weitere Bus-Straßenbahn-Hybride unter dem Dachnamen Straßenbahn auf Gummirädern („Tramway sur pneumatiques“). Diese sind streng spurgebundene Bussysteme, wobei die Spurführung physisch, induktiv oder optisch gewährleistet wird (Cornil, Pécheur, Bourgeois, Dolphin, & Dupriet, 1998, S. 35ff).

Ebenso ist eine Unterscheidung nach der *Antriebsart* möglich, wobei zwischen Verbrennungsmotor, Elektromotor und linear angetriebenen Verkehrssystemen unterschieden wird. Unter den linearbetriebenen Verkehrssystemen ist zwischen induktiver, magnetischer Antriebsweise und dem Seilantrieb zu differenzieren.

Die Art der *Steuerung* bildet ein weiteres Unterscheidungsmerkmal. Diese bezieht sich vor allem auf die longitudinale Separation. Man kann zwischen manuellem Fahren auf Sicht, manuellem Fahren nach Signal oder vollautomatischem Fahren unterscheiden. Entlang eines Linienverlaufs kann es auch zu Kombinationen verschiedener Steuerungsarten kommen.

4.1.4 Klassifizierung nach verkehrlicher Funktion

Hierbei wird nach Art der Linien bzw. den bedienten Wegen unterschieden:

Kurzstrecken mit langsamer bis mittelschneller Reisegeschwindigkeit, die kleinräumige, verkehrsintensive Räume bedienen. Beispiele hierfür sind Gewerbegebiete, Universitätscampus oder die Flächenerschließung als Zubringerlinie zum innerstädtischen Netz.

Innerstädtische Strecken bilden das den Kurzstrecken übergeordnete ÖPNV-Netz und erstrecken sich über das gesamte Stadtgebiet. Auf ihnen kommen verschiedene Verkehrssysteme zur Anwendung.

Beispiele dafür sind Straßenbahn-, U-Bahn-, BRT- und LRT-Systeme.

Der *Regionalverkehr* hat in der Regel die höchste Reisegeschwindigkeit und bindet, oft mittels Eisenbahnsystemen, Umlandregionen an den jeweiligen Ballungsraum.

Eine weitere Unterscheidung nach der verkehrlichen Funktion ist durch Fahrplangestaltung, Haltestellenabstände und Betriebsart gegeben:

Eine Linie kann *lokal* betrieben werden, indem das Verkehrsmittel bei jeder Haltestelle hält, während *beschleunigte* Linien nur gewisse Haltestellen in größeren Abständen anfahren, um eine höhere Reisegeschwindigkeit zu erzielen. *Express*-Linien halten nur an wichtigen Knotenpunkten, zeichnen sich durch eine hohe Reisegeschwindigkeit aus und entlasten die langsameren Betriebsarten.

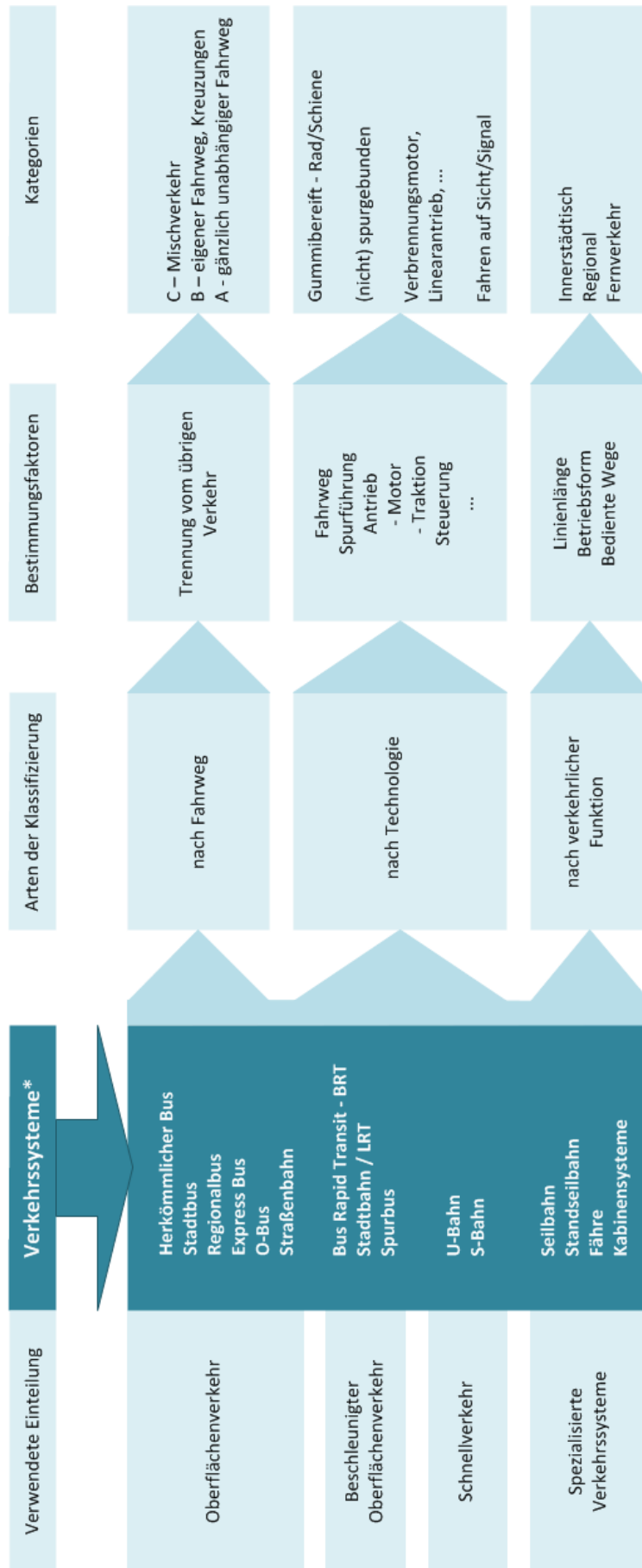
Nach Betriebszeiten unterschieden gibt es Linien, die den ganzen Tag über im Großen und Ganzen in unveränderten Intervallen verkehren, während Pendlerverkehr zu Spitzenstunden oft zusätzliche Linien erfordert. *Außerplanmäßige Bedienungen* kommen zum Beispiel bei Großereignissen zur Anwendung.

4.2 Herkömmliche Einteilung

Die generelle oder herkömmliche Einteilung der Verkehrssysteme gliedert sich nach Vuchic (2007, S. 50ff) in drei Kategorien:

- Der im Mischverkehr mit dem MIV geführte Verkehr, dessen Fahrwegkategorie C ist, ist in der Verkehrsplanung unter dem Namen *Oberflächenverkehr* geläufig. Hierbei kann es sich um Bussysteme, Straßenbahnsysteme oder Mischformen der beiden handeln
- Der so genannte *beschleunigte Oberflächenverkehr* wird in der Regel ebenfalls an der Oberfläche geführt, verfügt jedoch überwiegend über einen eigenen Fahrweg. Dieser kann baulich oder lediglich durch Fahrverbote bzw. Bodenmarkierungen getrennt sein. Der Fahrweg kann abschnittsweise den Kategorien A, B und C entsprechen, wobei vorwiegend Kategorie B zur Anwendung kommt. Hierbei kommen BRT-, LRT Systeme und deren Mischformen zum Einsatz. Sie zeichnen sich durch hohe Reisegeschwindigkeiten bei hohem Verkehrsaufkommen und großer LF aus.
- Der *Schnellverkehr* verfügt ausschließlich über Fahrwege der Kategorie A. Er verfügt über große LF, hohe Reisegeschwindigkeit und störungsarmen Betrieb. Da ein kreuzungsfreier und somit von sämtlichen übrigen Verkehrssystemen unabhängiger Verkehrsträger in vorhandenen Strukturen selten auf Straßenniveau implementiert werden kann, wird der Schnellverkehr in der Regel über U-Bahnsysteme in Tief- und Hochlage abgewickelt. Vorhandene, ebenerdige Eisenbahnstrukturen bilden hier die Ausnahme.

In Abbildung 13 wird ein Überblick über die gängigsten Verkehrssysteme und die oben erwähnten Arten der Klassifikation gegeben.



* stellt keine vollständige Auflistung dar

Abbildung 13: Arten der Klassifizierung von Verkehrssystemen

5 Eigenschaften der Verkehrssysteme

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die gängigsten Verkehrssysteme gegeben. Hierbei werden Definition, besondere Charakteristika sowie ihre Anwendungsbereiche dargestellt.

Die Einteilung erfolgt nach herkömmlichem und beschleunigtem Oberflächenverkehr, Schnellverkehr sowie spezialisierten Verkehrssystemen. Es werden ausschließlich Verkehrssysteme des ÖPNV behandelt, die, gemäß der Definition des Untersuchungsrahmens Anwendung auf Durchmesserlinien in Großstadträumen Anwendung finden. Flächenerschließender, bedarfsorientierter, regionaler und überregionaler Verkehr werden hierbei nicht berücksichtigt. Diese Einteilung der Verkehrssysteme wird im weiteren Verlauf der Arbeit bei der Darstellung von Entscheidungskriterien verwendet.

Die Gliederung des Kapitels folgt der herkömmlichen Einteilung der Verkehrssysteme.

5.1 Oberflächenverkehr

5.1.1 Herkömmlicher Bus

Unter einem herkömmlichen Bus versteht man gemäß Vuchic (2007, S. 202) ein gummiereiftes, verbrennungsmotorgetriebenes und individuell manuell gesteuertes Fahrzeug zur Beförderung von Menschen. Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 602) sehen ihn als flexibelstes aller Verkehrssysteme. Dies resultiert aus der Eigenschaft des Busses, auf keinen eigenen Fahrweg angewiesen zu sein, sondern das Straßennetz im Mischverkehr mit dem MIV nutzen zu können. Durch die manuelle Steuerung und die Nutzung des Straßennetzes bedarf er kaum eigener Infrastruktur und ist flexibel in Bezug auf Hindernisse und Linienführung. Seine vorherrschende Rolle im ÖPNV beruht – dank der Mitbenutzung ohnehin vorhandener Infrastruktur und immer ausgereifterer Dieselmotoren – auf wirtschaftlichen Vorteilen gegenüber anderen Verkehrssystemen. Linienbusse werden in der Regel als Niederflurfahrzeuge ausgeführt und genügen somit auch den Ansprüchen der Barrierefreiheit. Neben dem Antrieb durch Verbrennungsmotoren kommen vereinzelt innovative Antriebs-technologien wie Elektromotoren oder Hybridantriebe zur Anwendung.

Bussysteme kommen in nahezu jeder Stadt zum Einsatz, erfüllen aber mitunter unterschiedliche verkehrliche Anforderungen. Im untergeordneten, flächenerschließenden Netz als Zubringerlinien zum übergeordneten ÖPNV, aber auch im übergeordneten Verkehr kommen herkömmliche Bussysteme zum Einsatz, wobei Busse und Fahrweg an die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden können. Vuchic (2007, S. 203) fasst die charakteristischen Eigenschaften des herkömmlichen Busverkehrs wie folgt zusammen:

- *Die Möglichkeit, auf den meisten Straßen betrieben werden zu können*
Flexibilität in Linienführung und -variation führt zu betrieblichen und finanziellen Vorteilen des Bussystems gegenüber anderen Verkehrssystemen. Herkömmliche Bussysteme werden im Mischverkehr mit dem IV geführt und verfügen somit über einen Fahrweg der Kategorie C.
- *Niedrige Investitionskosten*
Die niedrigen Investitionskosten ermöglichen eine schnelle Einführung und schnelle Änderungen oder Verlängerungen eines Bussystems. Meist bleiben Haltestellenanlagen die einzigen Investitionskosten entlang einer Linie, der Rest entfällt auf die flexibel einsetzbaren Fahrzeuge. Dadurch eignet sich ein herkömmliches Bussystem auch für Testlinien.

- *Begrenzte Leistungsfähigkeit*

Die begrenzte Größe der Transporteinheiten (TUs), mit denen außerdem keine Zugbildung möglich ist, macht den Bus zum idealen Verkehrsmittel für Erschließungsgebiete mit niedrigem Verkehrsaufkommen. Die Fahrzeuggrößen reichen von Minibussen mit Platz für maximal 30 Fahrgästen bis zu Doppelgelenkbussen für bis zu 140 Fahrgäste. Busse bieten oft die einzige Möglichkeit, schwächere Linien finanziell effizient zu betreiben.

In Österreich finden herkömmliche Bussysteme in nahezu jeder Stadt Anwendung, darunter auch in sämtlichen Landeshauptstädten. Abbildung 14 zeigt einen dieselpetriebenen Niederflrbus der Linz AG, der im urbanen ÖPNV in Linz zum Einsatz kommt.



Abbildung 14: Diesel Niederflrbus der Linz AG (© Martin Ruderstorfer)

5.1.2 O-Bus

Der O-Bus – die Abkürzung steht für Oberleitungs-Bus – unterscheidet sich in zwei wesentlichen Merkmalen von herkömmlichen Bussystemen. O-Busse im Gegensatz zu herkömmlichen Bussen mit ihren Verbrennungsmotoren elektrisch angetrieben und sind in weiterer Folge aufgrund ihrer Stromversorgung mittels Oberleitung liniengebunden. Im Gegensatz zu spurgebundenen Verkehrsmitteln wie der Straßenbahn sind O-Busse nicht fix mit ihrem Fahrweg verbunden, womit kleinere Lenk- und Ausweichmanöver über maximal 2 Fahrstreifen möglich sind, da sie mit schwenkbaren Stromabnehmern ausgestattet sind.

Dem Nachteil herkömmlichen Bussen gegenüber, nicht flexibel in der Linienführung zu sein und nicht ohne Investitionskosten in den Fahrweg auszukommen, stehen eine Reihe an Vorteilen gegenüber (Vuchic, 2007, S. 206). Der Elektromotor ermöglicht schnelleres und zugleich sanfteres Beschleunigen und Bremsen, vor allem in Steigungen. Neuere Busse führen beim Bremsen Strom zurück in das Oberleitungsnetz. Aufgrund der größeren Langlebigkeit der Fahrzeuge und weitaus geringerer Schadstoff- und Lärmemissionen haben O-Busse weit weniger negativen Einfluss auf ihre Umwelt (Kliucininkas, Matulevicius, & Martuzeviciu, 2012, S. 101).

O-Bussysteme kamen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts auf, um die hohen Initialinvestitionen von Straßenbahnsystemen zu vermeiden. Das Verkehrssystem erlebte in der Folge einen

Aufschwung, die Zahl der Städte mit O-Bussen gipfelte in den 1950er Jahren (Costa & Fernandes, 2012, S. 276). Die negativen Folgen auf Stadtbild und die immer effizienteren herkömmlichen Busse drängten die Technologie zurück. Heutzutage sind in Österreich nur noch zwei O-Bussysteme in Linz und Salzburg in Betrieb. In Abbildung 15 ist ein O-Bus der Linz AG zu sehen, welche ausschließlich Eingelenks-O-Busse betreibt:



Abbildung 15: Eingelenks O-Bus der Linz AG (© nikitat.de.tl)

5.1.3 Straßenbahn

Die Straßenbahn ist ein spurgebundenes Verkehrsmittel, dessen Traktion mittels Rad-Schiene-Systems auf den Gleiskörper übertragen wird. Sie gilt laut Costa & Fernandes (2012, S. 270ff) als erstes erfolgreiches Verkehrssystem im ÖPNV. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts kam erstmals die von Pferden gezogene Straßenbahn auf, die in weiterer Folge von der mittels Dampflokomotiven und von schlussendlich der – heutzutage geläufigen – elektrisch betriebenen Straßenbahn abgelöst wurde. Wie der Name bereits impliziert, verkehren Straßenbahnsysteme im allgemeinen Straßenraum im Mischverkehr mit dem IV. Trotz des höheren Passagierkomforts im Vergleich zu Bussystemen sieht Vuchic (2007, S. 300ff) aufgrund der Spurgebundenheit Probleme im Mischverkehr: Die mangelnde Flexibilität ermöglicht kein Ausweichen oder freies Manövrieren im Verkehr und vermindert somit Zuverlässigkeit und Reisegeschwindigkeit. Aufgrund der deutlich höheren Investitionskosten in Fahrweg und Fahrzeuge im Vergleich zu Bussystemen und höheren Fahrzeugkapazitäten von 100 Fahrgästen für einfache Straßenbahnen und von bis zu 350 Fahrgästen für Mehrgelenksstraßenbahnen, kommen sie vorwiegend im übergeordneten ÖPNV-Netz zur Anwendung.

Um Reisegeschwindigkeit und Zuverlässigkeit zu erhöhen, werden Straßenbahnsysteme – wenn möglich – auf selbständige Gleiskörper verlegt (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 597ff). Ein selbständiger Gleiskörper wird in der Straßenbahnverordnung 1999 in §16 Absatz 6 wie folgt definiert:

„Selbständige Gleiskörper sind von der Fahrbahn durch bauliche Einrichtungen getrennte, dem Verkehr mit Schienenfahrzeugen dienende Bahnkörper im Verkehrsraum der Straße samt den darauf errichteten, dem Verkehr und Betrieb von Schienenfahrzeugen dienenden Anlagen und Einrichtungen.“

Dadurch findet ein Übergang des Fahrweges von Kategorie C zu Kategorie B statt. Zusammenfassend zeichnet sich das Verkehrssystem Straßenbahn durch folgende Merkmale aus:

- *Die Möglichkeit, im Mischverkehr geführt zu werden, jedoch an den Fahrweg gebunden.* Gerade in Stadtzentren, bei fehlendem Platz für eigene Infrastruktur, ist die Führung einer Straßenbahn im Mischverkehr von Vorteil.
- *Investitionskosten sind höher als für Bussysteme, allerdings niedriger als für andere, schienengebundene Verkehrssysteme.* Der Bau von Fahrweg, Stromversorgung und Haltestellen stellt einen Mehraufwand im Vergleich zu Bussystemen dar. Im Gegensatz zu U-Bahnsystemen sind die Investitionskosten jedoch verhältnismäßig gering.
- *Hohe Leistungsfähigkeit.* Das Fassungsvermögen der TUs von bis zu 350 Fahrgästen ermöglicht eine hohe LF entlang einer Straßenbahnlinie. Für den flächenerschließenden Verkehr mit niedrigem Verkehrsaufkommen eignen sich Straßenbahnen aufgrund der hohen Investitionskosten jedoch nicht.

In Österreich gibt es mit Graz, Linz, Innsbruck, Gmunden und Wien fünf Städte, in denen Straßenbahnsysteme betrieben werden. Abbildung 16 zeigt einen modernen Mehrgelenktriebwagen der Grazer Verkehrsbetriebe im Mischverkehr.



Abbildung 16: Mehrgelenksstraßenbahn der Grazer Verkehrsbetriebe im Mischbetrieb (© Andreas Beeck)

5.2 Beschleunigter Oberflächenverkehr

Der beschleunigte Oberflächenverkehr ist als Weiterentwicklung des herkömmlichen Oberflächenverkehrs zu sehen. Stadtbahnssysteme, auf Englisch „Light Rail Transit“ (LRT) genannt, unterscheiden sich von herkömmlichen Straßenbahnsystemen durch ihren eigenen Bahnkörper (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 597ff) der Kategorie B oder A. Analog dazu verhält es sich mit Schnellbussystemen, im Englischen Bus Rapid Transit (BRT), sowie Spurbussen, die technisch bedingt auf einen eigenen Fahrweg angewiesen sind. Im weiteren Verlauf werden die einzelnen Verkehrssysteme charakterisiert.

5.2.1 LRT / Stadtbahn

Die Grenze zwischen dem herkömmlichen Straßenbahnsystem und ihrer Weiterentwicklung, dem LRT-System, ist fließend. LRT Systeme bestehen ebenfalls aus elektrisch betriebenen schienengebundenen Fahrzeugen und ihrem Gleiskörper. Der Unterschied zur Straßenbahn besteht in der Qualität ihres Fahrweges. Fahrwege des LRT gehören in der Regel der Kategorie B an (Vuchic, 2007, S. 303). Das bedeutet, dass der Betrieb nicht im Mischverkehr erfolgt und andere Verkehrsträger niveaugleich nur kreuzen können. Auch Kategorie A findet Anwendung, was bedeutet, dass der Fahrweg gänzlich unabhängig von anderen Verkehrssystemen betrieben werden kann. Oft werden Fahrwege aller drei Kategorien entlang einer Linie bzw. innerhalb eines ÖPNV-Netzes kombiniert. Besonders in Städten mit einem geschichtlich gewachsenen Straßenbahnnetz sind Neubaustrecken meist als selbständiger Gleiskörper ausgeführt, während Bestandsstrecken vor allem im Innenstadtbereich platzbedingt im Mischverkehr betrieben werden. Weitere Begriffe für derartige Verkehrssysteme sind neben Stadtbahn auch Unterpflasterstraßenbahn (U-Strab), wenn diese unterirdisch verläuft, sowie Tram-train Systeme oder Überlandstraßenbahnen, welche jedoch neben dem urbanen ÖPNV auch der regionalen Erschließung dienen (Koch & Grein, 2013, S. 10). Ein reines LRT-System zeichnet sich durch folgende charakteristische Merkmale aus, wobei Mischformen zwischen LRT und Straßenbahn die Regel sind:

- *Führung auf eigenem Fahrweg*
LRT-Systeme werden auf eigenen Fahrwegen geführt, wodurch Zuverlässigkeit und Reisegeschwindigkeit gegenüber der Straßenbahn gesteigert werden können. Die Führung auf selbständigem Gleiskörper an der Oberfläche ist – gerade in Innenstadtbereichen – im Gegensatz zu U-Bahnssystemen und Straßenbahnsystemen oft nicht möglich.
- *Höhere Investitionskosten als die Straßenbahn, niedrige Investitionskosten als eine U-Bahn*
Zwar erfordert der eigene Fahrweg im Vergleich zur Straßenbahn aufgrund des größeren Platzbedarfs höhere Investitionskosten für Grundablösen, die Infrastruktur an sich benötigt jedoch keine signifikant größeren Investitionen. Im Vergleich zu U-Bahnssystemen sind die Investitionskosten jedoch weitaus geringer.
- *Hohe Leistungsfähigkeit bei hoher Zuverlässigkeit*
Das Fassungsvermögen der TUs von LRT-Systemen entspricht dem von Straßenbahnsystemen, da ähnliche Fahrzeuge zum Einsatz kommen. Der selbständige Gleiskörper wird in der Regel mit einem größeren Haltestellenabstand kombiniert (Vuchic, 2007, S. 303), was zu einer größeren Reisegeschwindigkeit bei hoher Zuverlässigkeit führt.



Abbildung 17: Neubau-Tunnelstrecke im Linzer Straßenbahnnetz (© Herbert Ortner)

In Österreich sind sämtliche Straßenbahnsysteme geschichtlich gewachsene. Neubaustrecken im Rahmen von Netzerweiterungen werden – wenn möglich – entsprechend den LRT-Standards ausgeführt. Dies führt zu Linien, die streckenweise Straßenbahn- und streckenweise LRT-Standards entsprechen. Abbildung 17 zeigt eine auf selbständigem Gleiskörper und teilweise unterirdisch geführte Neubaustrecke im Linzer Straßenbahnnetz.

5.2.2 BRT / Schnellbus

Schnellbussysteme werden mit verbrennungsmotorgetriebenen Bussen betrieben, die gummibereit und manuell gesteuert werden. Den Hauptunterschied zu herkömmlichen Bussystemen macht ihr – vom allgemeinen Straßenverkehr getrennter – eigener Fahrweg aus. Mejía-Dugand, Hjelm & Baas (2013, S. 85) nennen zudem weitere Merkmale, von denen ein BRT System mindestens zwei zu erfüllen hat: ein koordiniertes Netz, ausgebaute und komfortable Stationen, niveaugleicher Einstieg in die Fahrzeug, barrierefreie und gut zugängliche Stationen, ein integriertes Tarifsystem mit Kartenverkauf an den Stationen, eine zentrale Leitstelle sowie ein klares Informations- und Leitsystem. Separate Busspuren bei herkömmlichen Bussystemen werden laut Vuchic (2007, S. 256) oft als BRT System missverstanden und schaden damit deren Image und öffentlicher Wahrnehmung.

BRT Systeme zeichnen sich durch kurze Bauzeiten und im Vergleich zu U-Bahn und Straßenbahn verhältnismäßig geringe Investitionskosten bei ähnlicher LF aus (Liu, 2005). Zusammenfassend zeichnen sich BRT-Systeme durch folgende Eigenschaften aus:

- *Eigener Fahrweg der Kategorie B*
Analog zu LRT-Systemen verfügen BRT-Systeme über ihre eigene Infrastruktur. Da die Fahrzeuge an sich nicht physisch an ihren Fahrweg gebunden sind, sind Ausweichmanöver und das Wechseln in den allgemeinen Straßenraum zwar möglich, entsprechen aber nicht den Grundsätzen von BRT-Systemen, da dies negative Auswirkungen auf Zuverlässigkeit und Reisegeschwindigkeit hat. Der Fahrweg bietet somit eine Servicequalität der Kategorie B.

- *Verhältnismäßig geringe Kosten gegenüber anderen übergeordneten Verkehrssystemen*
Im Vergleich zu jeglichen schienengebundenen Verkehrssystemen, die im ÖPNV zur Anwendung kommen, bedürfen BRT-Systeme geringerer Investitionskosten. Der Platzbedarf ähnelt durch die zwei separaten Fahrstreifen jedoch dem eines LRT-Systems.
- *Hohe Leistungsfähigkeit bei hoher Zuverlässigkeit*
Durch immer größer werdende TUs mit Platz für bis zu 150 Fahrgäste zeichnen sich BRT-Systeme durch eine hohe LF aus. Ihr Fahrweg der Kategorie B ermöglicht einen zuverlässigen Betrieb. Sie kommen im übergeordneten ÖPNV zur Anwendung.

BRT-Systeme fanden ihren Ursprung in den 1970er Jahren in Nord- und Südamerika (Vuchic, 2007, S. 256ff). Nachdem in den 1930er Jahren zahlreiche Straßenbahnsysteme durch Bussysteme ersetzt wurden, was zu einer drastischen Abnahme der ÖPNV Benutzer führte, erfuhren BRT Systeme seit den achtziger Jahren einen Aufschwung, da ihre permanente Infrastruktur hohe Reisegeschwindigkeiten ermöglichte. In Österreich existieren, wohl aufgrund der langen Tradition von Straßenbahnsystemen, keine BRT-Systeme.

Abbildung 18 zeigt ein BRT-System mit Haltestelle und eigenem Fahrweg in Bogotá, Kolumbien.



Abbildung 18: BRT-System auf eigenem Fahrstreifen in Bogotá, Kolumbien (© CreativeCommons Lizenz)

5.2.3 Spurgeführte Bussysteme

Spurgeführte Busse (*Spurbusse*) vereinen Eigenschaften herkömmlicher Busse mit jenen von Straßenbahnen. Sie können entweder ein eigenständiges System bilden oder als Zwei- oder Mehrsystemfahrzeuge ausgebildet sein.

Die Deutsche Bahn setzte ab 1953 (Reinhardt, 2012, S. 577ff) Zweisystembusse ein, die sowohl über ein Straßenfahrwerk als auch zwei absenkbare Achsen für den Schienenbetrieb auf herkömmlichen Eisenbahnstrecken dienten.

Die weitere Entwicklung spurgeführter Bussysteme führte in weiterer Folge zu einer Vielzahl unterschiedlicher technischer Systeme. Vuchic (2007, S. 225ff) unterscheidet und erläutert spurgeführte Bussysteme grundsätzlich nach drei verschiedenen Arten der Spurführung wie folgt:

- mechanische Spurführung
- elektronische bzw. induktive Spurführung
- optische Spurführung

Die *mechanische Spurführung* bindet den Bus physisch an den Fahrweg. Diese Querspurführung kann durch seitliche Führungsrollen, die den Bus in einem Fahrtrug halten gewährleistet werden. Diese Technologie kommt seit 1982 auf dem längst dienenden Spurbusbetrieb in Essen, Deutschland zur Anwendung. Eine weitere, moderne Technologie ist die Spurführung durch eine im Straßenkörper eingelassene Mittelschiene. Besonders in Frankreich kommen mehrere verschiedene Systeme zur Anwendung (Cornil, Pécheur, Bourgeois, Dolphin, & Dupriet, 1998, S. 35ff). In Frankreich sind Systeme wie der in Abbildung 19 dargestellte Translohr bezeichnenderweise unter dem Namen „Tram sur pneus“, übersetzt „Straßenbahn auf Gummireifen“ bekannt. Während der Spurbus in Essen zur Zeit der Mitnutzung einer Tunnelstrecke der Stadtbahn (Reinhardt, 2012, S. 583) als echtes Zweisystemfahrzeug fungierte, ist etwa der Translohr mit dem herkömmlichen Straßenbahnbetrieb vergleichbar.

Die *elektronische bzw. induktive Spurführung* wird durch im Fahrweg verlegte Leitkabel und Antennen bzw. Induktionsschleifen im Fahrzeug gewährleistet. Diese Form der Spurführung kann, kombiniert mit herkömmlicher, manueller Steuerung, nur für einzelne Abschnitte, wie zum Beispiel der abstandsfreien Haltestelleneinfahrt, aber auch entlang einer gesamten Linie angewendet werden. Als Beispiel dient seit 2004 das Phileas System in Eindhoven, Niederlande (VDL Bus and Coach, 2013).

Optisch spurgeführte Busse orientieren sich mittels Kameras an, auf dem Fahrweg mittels Spezialfarbe aufgebrachten, Leitlinien. Besonders in Frankreich ist diese Technologie weit verbreitet und kommt bei über 300 Bussen (Reinhardt, 2012, S. 584) zur Anwendung.

Die verkehrlichen Eigenschaften spurgeführter Bussysteme werden wie folgt charakterisiert:

- *Meist Führung auf eigenem Fahrweg der Kategorie B.*
Spurbusse werden in der Regel zumeist auf baulich getrennten Fahrwegen der Kategorie B betrieben, was zu einer höheren Reisegeschwindigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Bussystemen führt. Die meisten Spurbussysteme zeichnen sich jedoch dadurch aus, bei Störungen oder Umleitungen flexibel von ihrem Fahrweg abweichen zu können.
- *Höhere Investitionskosten im Vergleich zu herkömmlichen BRT Systemen.*
Durch den speziellen Fahrweg mit Spurführungseinrichtung sind die Initialinvestitionen in spurgeführte Bussysteme höher als bei herkömmlichen BRT Systemen.
- *Hohe Leistungsfähigkeit bei hoher Zuverlässigkeit.*
Spurgeführte Bussysteme gelten als sicherer im Vergleich zu herkömmlichen BRT Systemen, sind jedoch weniger leistungsfähig und zuverlässig, da ein schadhafes Fahrzeug bzw. Schäden an der Strecke, je nach angewendeter Technologie, zu einem unüberwindbaren Hindernis werden können.



Abbildung 19: Translohr-System in Clermont-Ferrand, Frankreich (© CreativeCommons Lizenz)

5.3 Schnellverkehr

5.3.1 U-Bahn

Das System U-Bahn wird von Reinhardt (2012, S. 297) durch folgende Eigenschaften charakterisiert und von anderen schienengebundenen Verkehrssystemen abgegrenzt:

- unabhängige Führung der Bahn vom übrigen Verkehr
- Führung (zumindest innenstädtisch) in Tunnelstrecken oder in Hochlage
- Fahren mit Zugsicherungsanlagen (im Gegensatz zum Fahren auf Sicht)
- hohe Bahnsteige und damit verbunden ebene Einstiege
- hohe Anfahrbeschleunigungen

Nach Vuchic (2007, S. 305) ist das vordergründige Alleinstellungsmerkmal der Fahrweg der Kategorie A, was Unabhängigkeit von anderen Verkehrsträgern bedeutet. U-Bahnssysteme sind weiters durch ihre hohe LF (bedingt durch hohe Anfahrbeschleunigungen) und schnellen Fahrgastwechsel in Stationen mit einem Abstand von rund 1 Kilometer charakterisiert (Koch & Grein, 2013, S. 10). U-Bahnssysteme sind sowohl in der Errichtung als auch im Betrieb sehr kostenintensiv und kommen daher in der Regel im hochrangigen ÖPNV Netz in Metropolen oder Großstädten zum Einsatz. Abbildung 20 zeigt einen Zug der U-Bahn Nürnberg beim Fahrgastwechsel in der Station Hauptbahnhof. Die großen Türflächen ermöglichen schnelles Ein- und Aussteigen. Ostermann (2006, S. 190) sieht in der U-Bahn das Verkehrssystem mit der höchsten LF im innerstädtischen Bereich. Es sind Mischsysteme möglich, die im Zentrum in Tunnelstrecken verkehren, in der Peripherie jedoch als Stadtbahn oder LRT-System mit einem Fahrweg der Kategorie B betrieben werden. U-Bahnssysteme können linienrein betrieben werden, Stammlinien mit Verästelungen in der Peripherie kommen häufig zur Anwendung. Die grundlegenden Eigenschaften eines U-Bahnsystems ergeben sich somit wie folgt:

- *Eigener Fahrweg der Kategorie A*
Durch den kreuzungsfreien Fahrweg sind hohe Reisegeschwindigkeiten und kurze Zugfolgen möglich.

- *Hohe Investitionskosten und hohe Betriebskosten*
Durch Tunnelstrecken in Altstadtbereichen, aufwändige Stationsbauwerke und aufwändige Sicherungssysteme sind die Investitionskosten im Vergleich zu anderen übergeordneten Verkehrsmitteln wie LRT-Systemen sehr hoch. Auch im Betrieb verursachen dichte Intervalle hohe laufende Kosten.
- *Hohe Leistungsfähigkeit bei großer Zuverlässigkeit*
Der eigene Fahrweg, Fahrzeuge mit großen Türflächen, die einen schnellen Fahrgastwechsel in Stationen gewährleisten und somit dichte Intervalle ermöglichen, führen zur höchsten LF und zur höchsten Zuverlässigkeit aller bisher genannten Verkehrssysteme.



Abbildung 20: U-Bahnzug in Nürnberg, Deutschland während des Fahrgastwechsels (© CreativeCommons Lizenz)

5.3.2 S-Bahn

Der S-Bahnbetrieb wird in der Regel auf dem herkömmlichen Eisenbahnnetz abgewickelt und ist neben der Erschließung innerstädtischer Ziele vorwiegend von regionaler Bedeutung. Der reguläre Eisenbahnverkehr dient vor allem der regionalen und überregionalen Verbindung von Zentren und wird daher nicht weiter erläutert.

Während S-Bahnssysteme im innerstädtischen Bereich mit einem Haltestellenabstand von rund einem Kilometer (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 595) mitunter U-Bahnssystemen ähneln, sind zur Erhöhung der Reisegeschwindigkeiten auf regionalen Strecken Haltestellenabstände von rund 3 Kilometern üblich (Koch & Grein, 2013, S. 10). Im Gegensatz zur U-Bahn verkehrt die S-Bahn meist nicht linienrein und häufig im Mischverkehr mit dem Schienenregional- und Fernverkehr. Die Fahrzeuge verfügen über hohe Kapazitäten, große Türflächen zum schnellen Fahrgastwechsel und einer hohen Maximalgeschwindigkeit für Überlandstrecken. Interne Richtlinien der Deutschen Bahn (Reinhardt, 2012, S. 344) empfehlen für den reibungslosen S-Bahnbetrieb Strecken mit möglichst weiten Radien, zwei separaten Richtungsgleisen sowie möglichst wenigen Streckenverflechtungen, die zudem nicht niveaugleich ausgeführt werden sollten.

- *Eigener Fahrweg der Kategorie A*
Zwar verfügen S-Bahnsysteme laut Definition meist über Fahrwege der Kategorie A, jedoch sind mitunter niveaugleiche Bahnübergänge möglich. Außerdem stellt der Mischbetrieb mit anderen Eisenbahn-Betriebsformen einen externen Einfluss dar.
- *Hohe Investitionskosten und hohe Betriebskosten*
Bau und Betrieb von Vollbahnanlagen erfordern hohen Geldeinsatz, zumal S-Bahnstrecken im Innenstadtbereich oft als Tunnelstrecken ausgeführt werden (müssen).
- *Hohe Leistungsfähigkeit bei großer Zuverlässigkeit*
Der eigene Fahrweg, Fahrzeuge mit hoher Kapazität und großen Türflächen, die einen schnellen Fahrgastwechsel in Stationen gewährleisten, sorgen für eine hohe LF bei hoher Zuverlässigkeit.



Abbildung 21: S-Bahn der ÖBB in Salzburg (© Salzburger Verkehrsplattform)

5.4 Spezialisierte Verkehrssysteme

Spezialisierte Verkehrssysteme stellen Systeme dar, die keiner der vorhergehenden Kategorie entsprechen und technisch weder dem Straßenverkehr noch dem herkömmlichen Rad-Schiene System zuzuordnen sind. In weiterer Folge wird jenen innovativen Transportmitteln Hauptaugenmerk gewidmet, deren Anwendung im ÖPNV bereits erfolgt ist bzw. unmittelbar bevor steht. Darüber hinaus wird ein Überblick über weitere innovative Transportkonzepte gegeben, deren Anwendung als Durchmesserlinien im übergeordneten ÖPNV-Netz von Großstädten denkbar ist.

5.4.1 Seilbahnen

Seilbahnen bestehen in ihrer klassischen Form aus einem oder mehreren Seilen, die sowohl die Trag- als auch die Antriebsfunktion für Kabinen verschiedener Größen erfüllen (Alshalalfah & Shalaby, 2010, S. 4ff). Es wird zwischen verschiedenen technischen Systemen unterschieden, die je nach topographischen und klimatischen Randbedingungen ihre Anwendung finden. Nach Art der Seilkonfiguration kann zwischen kuppelbaren Einseil-, Zweiseil-, oder Dreiseilumlaufbahnen, besonders windbeständigen Systemen namens *Funifor* und *Funitel*, sowie klassischen Gondelbahnen

im Pendelbetrieb unterschieden werden. Bei kuppelbaren Umlaufbahnen hängen die Kabinen in der Regel an den umlaufenden Tragseilen, die somit auch den Antrieb darstellen. Im Bereich der Stationen werden die Kabinen vom Seil geklemmt, um bei Schrittgeschwindigkeit das Aus- und Einsteigen zu ermöglichen, und anschließend wieder an das Umlaufseil geklemmt. Aus verkehrlicher Sicht sind vor allem die Kabinengröße sowie das Intervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kabinen relevant. Während kuppelbare Kleinkabinen mit einer Größe von üblicherweise 4 bis 15 Personen in kurzen Intervallen einem kontinuierlichen Verkehrsmittel („Stetigförderer“) ähneln, sind Pendelbahnen mit meist nur 2 pendelnden Gondeln mit Fassungsvermögen von bis zu 200 Personen mitunter fahrplangebunden. Zwischenstationen sind bei kuppelbaren Kabinenbahnen leicht realisierbar. Pendelbahnen eignen sich hingegen nicht für längere Linien, da für Zwischenhalte das gesamte System zum Stillstand kommen muss.

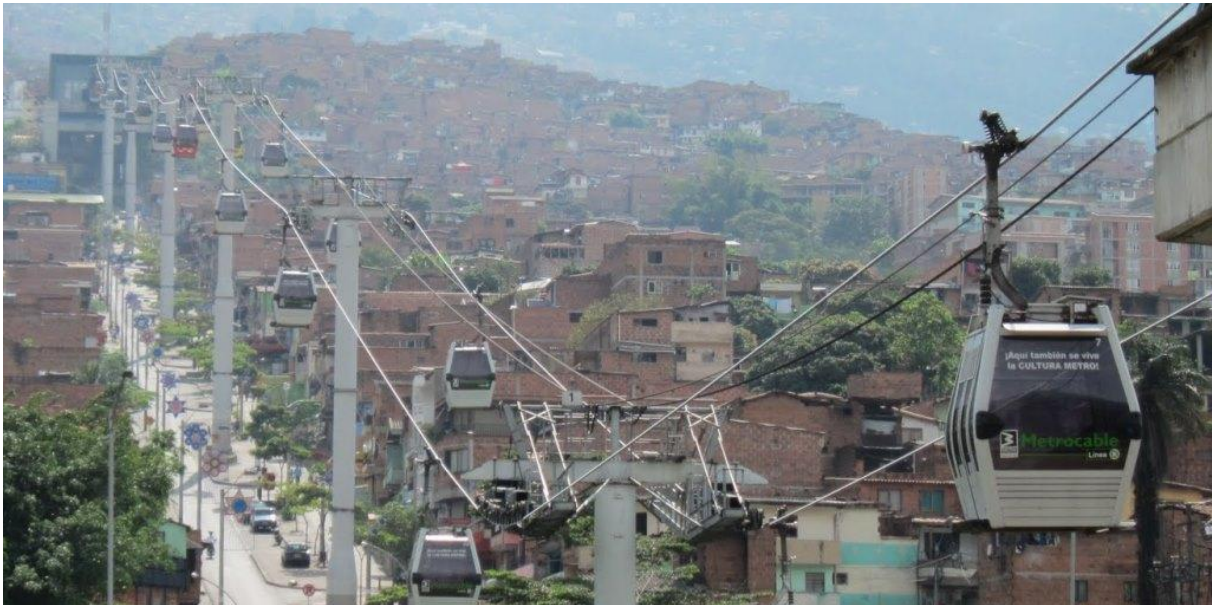


Abbildung 22: Einseilumlaufbahn im ÖPNV in Medellín, Kolumbien (© Creative Commons Lizenz)

Waren Seilbahnen über viele Jahre nahezu ausschließlich in Schigebieten und Bergregionen anzutreffen, kommen sie nun vermehrt im ÖPNV zur Anwendung (O'Connor & Dale, 2012, S. 5). Abbildung 22 zeigt ein vielzitiertes Beispiel für die urbane Anwendung einer kuppelbaren Einseilumlaufbahn in Medellín in Kolumbien. Zusammengefasst ergeben sich die Eigenschaften von Seilbahnen wie folgt:

- *Eigener Fahrweg der Kategorie A*
Seilbahnen verfügen systembedingt über ihren eigenen Fahrweg und sind somit unabhängig von anderen Verkehrsträgern. Klimatische Bedingungen sowie Wetterlagen können den Betrieb jedoch beeinflussen; Seilbahnen sind vor allem windempfindlich.
- *Relativ niedrige Investitionskosten bei niedrigen Betriebskosten*
Der Bau von Seilbahnen erfordert relativ niedrige Investitionskosten. Zwar steigen mit der Zahl der kostenintensiven Stationen die Gesamtinvestitionen, jedoch können teure Grundabläsen aufgrund nur einzelner Stützen entlang des Fahrwegs vermieden werden sowie die Bauzeit gering gehalten werden (Dávila & Daste, 2011). Die laufenden Kosten von Seilbahnen sind aufgrund ihrer automatischen Funktionsweise und ihres ökonomischen Energieeinsatzes geringer gegenüber Schienenverkehrsmitteln.

- *Mittlere Leistungsfähigkeit bei großer Zuverlässigkeit*
Seilbahnen sind ein sehr zuverlässiges Verkehrsmittel, bei einer technischen Störung steht jedoch die gesamte Anlage („Linie“) still. Die LF erreicht nicht die Dimensionen von schienengebundenen ÖPNV-Systemen, durch die meist kontinuierliche Bedienung ist die Servicequalität jedoch hoch.

5.4.2 Kabinensysteme

Ziel bei der Entwicklung neuer Verkehrsmittel war, dem Benutzer die Vorteile des IV mit denen des ÖPNV zu kombinieren (Reinhardt, 2012, S. 562). Neben bedarfsorientierten Bedienungsformen im ÖPNV, die sich für Durchmesserlinien im hochrangigen ÖPNV nicht eignen und daher nicht weiter beleuchtet werden, wurden in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts verschiedene Kabinensysteme und unkonventionelle, spurgeführte Verkehrsmittel entwickelt. Unabhängig von Spurführungsmechanismus und Antrieb unterteilt Reinhardt (2012, S. 564) diese in zwei Kategorien:

- Kleinkabinensysteme
- Großkabinensysteme

Kleinkabinensysteme bestehen aus einem dichten Netz aus Stationen und Fahrwegen in dem zu erschließenden Gebiet (Vuchic, 2007, S. 472). Kleinkabinen mit einem Fassungsvermögen von 3 bis 6 Personen können an diesen Stationen angefordert werden und verkehren nach Eingabe des Zielwunsches fahrerlos zur Wunschdestination.

Es liegt eine Vielzahl an Entwürfen solcher Kleinkabinensysteme vor, zum erfolgreichen Betrieb muss das Netz aber eine kritische Größe überwinden, was mit großen Initialinvestitionen verbunden ist und meist im Widerspruch zu vorhandener Verkehrsinfrastruktur steht. Bisher kam es daher zu keinen flächendeckenden Anwendungen in Großstädten. Deshalb können auch keine allgemeinen Aussagen bezüglich Kosten, LF und mangels Praxisanwendung auch keine Aussagen zur Zuverlässigkeit oder über den Betrieb gemacht werden.

Unter dem Überbegriff *Großkabinensysteme* versteht man – in der Regel automatisierte – spurgeführte Verkehrsmittel, deren Fassungsvermögen pro Kabine von 8 Personen aufwärts reicht. *Automated People Mover (APM)*, Standseilbahnen, Hängebahnen und Einschienenbahnen kann man allesamt den Großkabinensystemen zuordnen. Durch die innovative Spurführung ergeben sich viele Möglichkeiten, das Verkehrssystem auf die Randbedingungen des Anwendungsgebietes abzustimmen. Durch die Diversität der verschiedenen Systeme lassen sich auch hier keine allgemein gültigen Aussagen bezüglich ihrer Eigenschaften treffen.

5.4.3 Fähren

Fähr- und Bootsverkehr kann seine Anwendung sowohl im Fernverkehr, im Regional- als auch im Nahverkehr haben. Der Bedarf an Wassertransportmitteln entsteht meist mangels Alternativen (Vuchic, 2007, S. 493ff) und wird daher in der Systemwahl selten mit anderen Varianten verglichen. Durchmesserlinien durch das Stadtzentrum sind mangels Fahrwegen in der Regel nicht möglich, weshalb dieser Verkehrsträger in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt wird.

Im folgenden Kapitel werden nun Entscheidungskriterien für die Systemwahl eingeführt und die eben vorgestellten Verkehrssysteme auf deren Eigenschaften in Bezug auf diese Kriterien untersucht.

6 Entscheidungskriterien für die Systemwahl

In diesem Kapitel werden mögliche Entscheidungskriterien zur Systemwahl im urbanen ÖPNV diskutiert und mit den eingangs beschriebenen Verkehrssystemen assoziiert. Die Entscheidungskriterien gliedern sich in technische Randbedingungen und Anwendungsgrenzen des jeweiligen Systems einerseits und weitere, aus der Literatur ermittelte Einflussfaktoren auf der anderen Seite. Dazu zählen betriebliche, ökonomische und fahrgastpsychologische, aber auch externe Faktoren.

6.1 Technische Randbedingungen

Hier werden technische Parameter definiert und die Verkehrssysteme auf ihre Randbedingungen und Anwendungsgrenzen untersucht. Einheitlich ermittelte, unmittelbar vergleichbare Werte sollen hierbei einen Überblick ermöglichen. Untersucht wird jeweils ein Querschnitt von einem Fahrweg pro Richtung. (zweispurige Straße, zweigleisige Schienenstrecke, etc.)

6.1.1 Systemleistungsfähigkeit

Der Begriff der LF, der die maximale Transportleistung eines Verkehrssystems bestimmt und somit eine der maßgebenden technischen Randbedingungen darstellt, wird nach Anderhub, Dorbritz & Weidmann (2008, S. 4ff) wie folgt definiert:

„Die Leistungsfähigkeit eines Verkehrssystems wird als maximale Anzahl an beförderbaren Personen pro Richtung und Zeiteinheit wiedergegeben und berechnet sich aus dem Produkt der beiden Faktoren Fassungsvermögen pro Kurseinheit und Streckenleistungsfähigkeit.“

Die Streckenleistungsfähigkeit, die die maximale Zahl an Fahrzeugen pro Querschnitt und Stunde widerspiegelt, wird nach theoretischer Strecken-LF und betrieblicher Strecken-LF unterschieden. Die theoretische gibt an, wie hoch die LF abhängig von Sicherungstechnik und Rollmaterial auf einer Strecke sein kann, die betriebliche gibt die maximale, mittels stabilen Fahrplans bewerkstellbare LF an. Weiters wird zwischen komfortorientiertem Fassungsvermögen und Spitzenkurs-Fassungsvermögen unterschieden. Die in weiterer Folge angeführten Werte der Systemleistungsfähigkeit, die das Produkt aus betrieblicher Strecken-LF und Fahrzeugkapazität zur Spitzenstunde darstellen, stammen aus Vuchic's (2007, S. 76) Vergleich verschiedener Verkehrssysteme und werden in Tabelle 1 gegenübergestellt:

Tabelle 1: Systemleistungsfähigkeit der untersuchten Verkehrssysteme.

Einteilung	Verkehrssystem	max. Fassungsvermögen [Pers/TU]	max. Strecken-LF [TU/h]	Systemleistungsfähigkeit [Pers/h]
Oberflächenverkehr	Bus	40 - 120	60 - 180	2.400 - 8.000
	Straßenbahn	100 - 500	60 - 120	4.000 - 15.000
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT	40 - 150	60 - 300	4.000 - 8.000
	LRT / Stadtbahn	100 - 750	40 - 60	6.000 - 20.000
	Spurbus	-	-	-
Schnellverkehr	U-Bahn	140 - 2400	20 - 40	10.000 - 70.000
	S-Bahn	140 - 2000	10 - 30	8.000 - 60.000
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn	4 - 38	240 - 500	4.000 - 9.000
	Pendelbahn	20 - 200	- ^{a)}	500 - 2.800

^{a)} längenabhängig

Quellen: (Vuchic, 2007), (Alshalalalfah & Shalaby, 2010)

6.1.2 Reisegeschwindigkeit

Die Reisegeschwindigkeit ist die mittlere Geschwindigkeit, mit der ein Verkehrsmittel betrieben wird. Aufenthalte, sowohl zum Fahrgastwechsel als auch anderer Natur, fließen mit in die Berechnung ein. Ebenfalls Einfluss auf die Reisegeschwindigkeit haben die zulässige Höchstgeschwindigkeit sowie das Beschleunigungsverhalten der Fahrzeuge. Die Reisegeschwindigkeit liegt folglich unter der Höchstgeschwindigkeit des jeweiligen Fahrzeugs. Nach Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 147) wird die mittlere Reisegeschwindigkeit im Allgemeinen

„als Maßstab für die Qualität von Verkehrsabläufen herangezogen (...)“

Die Reisegeschwindigkeit ist bei gleicher Wegelänge direkt proportional zur Reisezeit und somit eine in der Wahl des Verkehrsmittels bestimmende Größe. Geht man von einem konstanten Mobilitätszeitbudget aus (siehe Kapitel 2.3.2), ist die Reisegeschwindigkeit bestimmend für die Raumwirksamkeit eines Verkehrsmittels (siehe Abbildung 2). Die Wahl des Verkehrssystems hat somit Einfluss auf die Raumwirksamkeit und weitere Siedlungsentwicklung entlang seiner Achse. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Reisegeschwindigkeiten der verschiedenen untersuchten Verkehrssysteme.

Tabelle 2: Reisegeschwindigkeit der untersuchten Verkehrssysteme.

Einteilung	Verkehrssystem	Fahrzeug-Höchstgeschwindigkeit [km/h]	Reisegeschwindigkeit [km/h]
Oberflächenverkehr	Bus	40 - 80	15-25
	Straßenbahn	60 - 70	Dez.20
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT	70 - 90	20-40
	LRT / Stadtbahn	60 - 100	20-45
	Spurbus	-	-
Schnellverkehr	U-Bahn	80 - 100	25-60
	S-Bahn	80 - 130	40-80
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn	21,6 - 30,6	14 - 27
	Pendelbahn	< 43,2	< 35,4

Quellen: (Vuchic, 2007), (Alshalalalfah & Shalaby, 2010)

6.1.3 Geometrische Grenzen der Trassierung

In diesem Unterpunkt werden die verschiedenen Verkehrssysteme auf ihre Randbedingungen bezüglich Trassierung in Auf- und Grundriss untersucht. Da Verkehrssysteme in unterschiedlichen topographischen Umgebungen und unterschiedlichen vorhandenen Stadtstrukturen implementiert werden, sind geometrische Abmessungen von Fahrzeug und Fahrweg, die maximal bewältigbare Steigung sowie der minimale Kurvenradius von Bedeutung.

- *Maximale Längsneigung*

Die maximale Längsneigung ist eine der maßgebenden geometrischen Randbedingungen eines Verkehrssystems. Grundsätzlich sind herkömmliche Verkehrssysteme wie Bus, Bahn oder Mischformen auf die Traktion durch Haftreibung angewiesen. Dadurch ergeben sich relativ geringe maximale Längsneigungen, wobei das herkömmliche Rad-Schiene System (Stahl auf Stahl) deutlich geringere Steigungen bewältigen kann als gummibereifte Verkehrsmittel. Die höhere bewältigbare Längsneigung stellt etwa einen Vorteil spurgeführter Busse gegenüber Straßenbahnen oder LRT-Systemen dar. Die maximale Längsneigung von Seilbahnen wird lediglich durch die Kabinengröße bestimmt (d.h. ab wann diese das Tragseil berührt). Somit sind Längsneigungen von bis zu 100% möglich. Genau diese Eigenschaft prädestiniert Seilbahnen für das Überwältigen großer Höhenunterschiede.

- *Minimaler Kurvenradius*

Während schienengeführte Verkehrssysteme einen eher hohen Kurvenradius benötigen, haben Bussysteme einen minimalen Wenderadius von 12 Metern. Gerade bei Bussystemen ist jedoch auch der Innenradius von großer Bedeutung, da durch das Fehlen einer gelenkten Hinterachse eine sogenannte „Schleppkurve“ entsteht. Das bedeutet, dass der Bus in einer Kurve mehr Fahrwegbreite benötigt als auf der Geraden (Reinhardt, 2012, S. 393). Vorteil spurgeführter Busse im Allgemeinen ist die Lenkung aller Achsen (ähnlich einer Straßenbahn), womit keine Schleppkurve entsteht. Während klassische Pendelbahnen keine

Kurven ermöglichen, können bei kuppelbaren Ein- oder Mehrseilkabinenbahnen Kurven von beliebigem Radius im Haltestellenbereich angeordnet werden.

- *Fahrwegbreite*

Die Breite des Fahrweges ergibt sich durch die Fahrzeugbreite bzw. die Lichtraumbreite bei spurgeführten Verkehrssystemen sowie durch die Fahrstreifenbreite bei nicht spurgeführten Verkehrssystemen. Anzumerken ist, dass Busse in der Kurvenfahrt eine Fahrbahnverbreiterung benötigen. Seilbahnenkabinen und -stützen haben selbst eine gewisse Breite, durch die – punktuell gestützte – hängende Tragkonstruktion ist diese jedoch kaum maßgebend.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über spezifische Extremwerte der untersuchten Verkehrssysteme bezüglich der Trassierung in Lage und Höhe.

Tabelle 3: Geometrische Randbedingungen der untersuchten Verkehrssysteme.

Einteilung	Verkehrssystem	max. Längsneigung [‰]	min. Kurvenradius [m]	Fahrwegbreite ^{d)} [m]
Oberflächenverkehr	Bus	130	12	3 - 3,65
	Straßenbahn	85	20	3 - 3,3
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT	130	12	3,65 - 3,75
	LRT / Stadtbahn	85	20	3,40 - 3,60
	Spurbus	130	12	3,3
Schnellverkehr	U-Bahn	63 - 70	75	3,70 - 4,30
	S-Bahn	50 - 62	75	4,00 - 4,75
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn	~ 1.000	- ^{a)}	-
	Pendelbahn	~ 1.000	- ^{b)}	-

^{a)} Kurven nur in Stationen möglich

^{b)} keine Kurven möglich

^{d)} in Geraden

Quelle: (Vuchic, 2007), (Alshalalalfah & Shalaby, 2010) und (Deutsch, 2003)

6.1.4 Haltestellenabstände

Der Abstand zwischen zwei Haltestellen eines Verkehrsmittels kann in der Regel frei gewählt werden und ist somit nicht zwingend als technische Randbedingung für die Trassierung zu sehen. Als technische Randbedingung im engeren Sinn kann lediglich ein Mindestabstand zwischen zwei Haltestellen gesehen werden, der sich aus der doppelten Fahrzeuglänge ergibt. Da solch ein enger Haltestellenabstand jedoch aus verkehrlicher Sicht schon auf den ersten Blick nicht sinnvoll ist, werden Erfahrungswerte zur Ermittlung des optimalen Haltestellenabstandes herangezogen. Die Wahl des richtigen Haltestellenabstandes, der Erschließungsaufgabe entsprechend, ist eine der wesentlichen Anforderungen an ein Verkehrssystem im ÖPNV (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 605). Hinsichtlich anderer Parameter wie Reisegeschwindigkeit, LF und verkehrlicher Funktion bewähren sich spezifische Haltestellenabstände für die verschiedenen Verkehrssysteme, die jedoch

an die Bedingungen angepasst werden können. Hat eine S-Bahn im Schnellverkehr normalerweise zum Beispiel größere Haltestellenabstände als eine U-Bahn, so können diese im innerstädtischen Bereich laut Reinhardt (2012, S. 73) jedoch gleich groß sein. Unter den Seilbahnen ist es für herkömmliche Pendelbahnen üblich, nur über Anfangs- und End- bzw. Berg- und Talstation zu verfügen. Für kuppelbare Seilbahnen bedeutet der Bau von zusätzlichen Stationen einen erheblichen finanziellen Mehraufwand. Bei kuppelbaren Dreiseilgondelbahnen etwa betragen die Kosten für einen Kilometer Strecke im Schnitt 3,4 Mio Euro, während zwei Stationsbauten zusammen mehr als dreimal so viel, nämlich 10 Mio. Euro kosten (Alshalalalfah & Shalaby, 2010, S. 18).

Abbildung 23 veranschaulicht die von Vuchic (2007, S. 73) und Reinhardt (2012, S. 455) je nach Verkehrssystem definierten Regelabstände zwischen zwei Personenhalten.

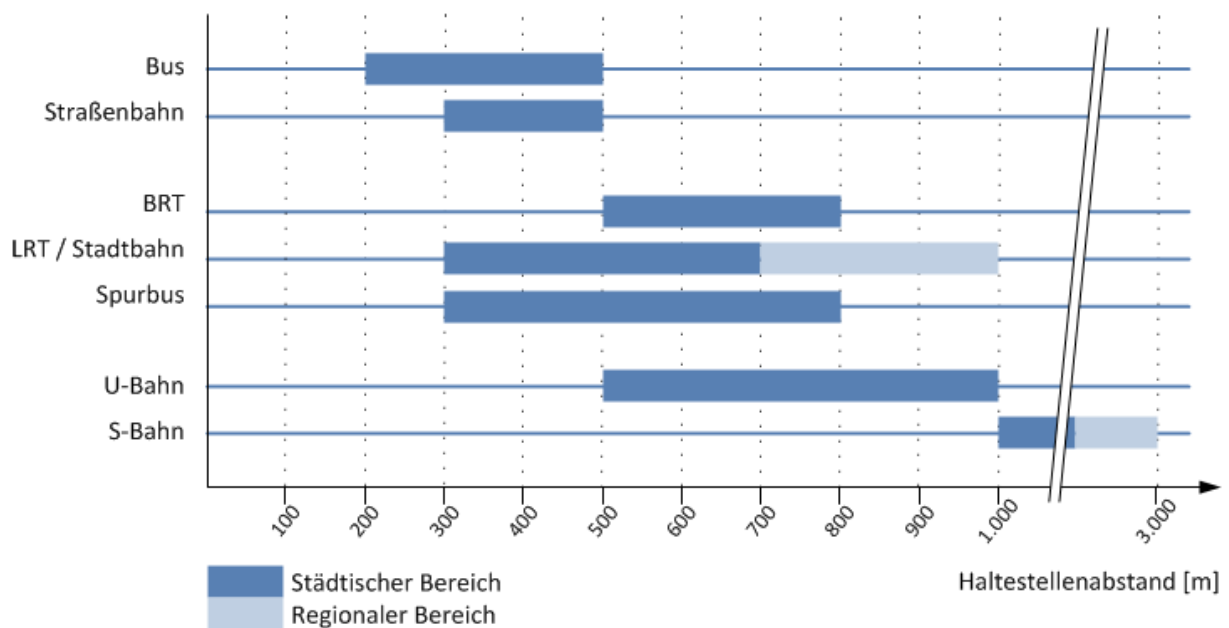


Abbildung 23: Haltestellenabstände der untersuchten Verkehrssysteme.
 Quellen: (Vuchic, 2007, S. 73) und (Reinhardt, 2012, S. 455)

6.2 Betriebliche Entscheidungskriterien

Weitere Kriterien für die Systemwahl sind betriebliche Aspekte und Qualitäten der zur Auswahl stehenden Verkehrssysteme. Insbesondere von Seiten des künftigen Betreibers, der die Verantwortung für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb trägt (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 592ff) sind Zuverlässigkeit, Flexibilität und Sicherheit gefordert. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Verkehrssysteme auf ihre betrieblichen Eigenschaften untersucht. Abschließend wird eine qualitative Bewertung der Verkehrssysteme nach den wichtigsten Aspekten in Form einer Matrix dargestellt. In weiterer Folge werden einzelne Aspekte folgenden Überpunkten zugeordnet:

Zuverlässigkeit

Flexibilität

Sicherheit

Rein monetäre betriebliche Eigenschaften wie Betriebskosten werden anschließend in Kapitel 6.3 behandelt.

6.2.1 Zuverlässigkeit

Die zwei von Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 592) erwähnten Eigenschaften *technische Zuverlässigkeit* und *Wartungsarmut* sind der Zuverlässigkeit zuzurechnen. Die technische Zuverlässigkeit verlangt ausgereifte technische Lösungen an Fahrzeug und Fahrweg. Darunter können eine geringe Störungshäufigkeit und das Ausbleiben von „bösen Überraschungen“ verstanden werden. Die Wartungsarmut wiederum betrifft die kalkulierten Stillstände von Fahrzeug bzw. Sperre von Fahrwegen, um planmäßige Wartungsarbeiten durchzuführen. Komplexe Systeme sind naturgemäß in der Regel wartungsintensiver. Deutsch (2003, S. 82ff) nennt zum Erreichen eines zuverlässigen Betriebs als Bewertungskriterium die betriebliche Störepfindlichkeit. Technische Standfestigkeit ist die Kombination aus Störungsempfindlichkeit und Wartungsaufwand. Grundsätzlich wird dabei die Aussage getroffen, dass die Zuverlässigkeit bei praxiserprobten und ausgereiften Systemen am höchsten ist. Der Fahrweg, insbesondere die Einstufung in Kategorie A, B oder C haben gemäß Vuchic (2007, S. 71ff) erhebliche Auswirkungen auf die betriebliche Zuverlässigkeit. Gerade spurgebundene Verkehrssysteme im Mischverkehr können durch externe Einflüsse wie Falschparker am reibungslosen Betrieb gehindert werden. Pauschal ist festzustellen, dass eine höhere Fahrweg-Kategorie zu einer höheren betrieblichen Zuverlässigkeit führt.

In Tabelle 4 werden die untersuchten Verkehrssysteme bezüglich ihrer Zuverlässigkeit bewertet. Die Bewertung ist qualitativ und reicht von „niedrig“ bis „sehr hoch“. Diese Bewertungen sind verallgemeinerte Aussagen, die besonders auf Bewertung des Fahrwegs bzw. Erfahrungswerten basieren. Spezifische Fahrzeugtypen können ob der Vielfalt nicht berücksichtigt werden.

Seilbahnsysteme gelten aufgrund ihrer gänzlichen Unabhängigkeit von anderen Verkehrsträgern (Alshalalalfah & Shalaby, 2010, S. 8ff) und dem hohen Automatisierungsgrad als sehr zuverlässig, lediglich die Witterungsempfindlichkeit (besonders gegenüber Wind) ist aufgrund des in der Regel großen Bodenabstandes höher als bei anderen Verkehrssystemen. Durch die langjährige Erprobung in Schigebieten mit hohen Windspitzen wurden aber Systeme wie das *Funitel* entwickelt, die bei Windgeschwindigkeiten bis über 100 km/h betrieben werden können. Langzeitstudien im ÖPNV sind nicht vorhanden, jedoch kann aufgrund der jahrzehntelangen Erprobung in Schigebieten eine qualitative Aussage bezüglich der Zuverlässigkeit getroffen werden.

Tabelle 4: Zuverlässigkeit der untersuchten Verkehrssysteme

Einteilung	Verkehrssystem	Zuverlässigkeit
Oberflächenverkehr	Bus	mittel
	Straßenbahn	mittel
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT	hoch
	LRT / Stadtbahn	hoch
	Spurbus	- ^{a)}
Schnellverkehr	U-Bahn	sehr hoch
	S-Bahn	sehr hoch
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn	sehr hoch
	Pendelbahn	sehr hoch

^{a)} keine belastbaren Daten vorhanden

Quellen: (Vuchic, 2007), (Deutsch, 2003) und (Alshalalalfah & Shalaby, 2010)

6.2.2 Flexibilität

Die *Flexibilität in der Betriebsabwicklung* (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 592) eines Verkehrssystems wird in dieser Arbeit als die Fähigkeit definiert, auf einen Störfall bzw. eine Änderung von Nachfrage oder äußeren Umständen umgehend und adäquat reagieren zu können, um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Die von Deutsch (2003, S. 82) genannten Beschreibungsgrößen *Ausweichmöglichkeit bei Baumaßnahmen*, *Betriebsüberholungen* sowie eine *bedarfsgerechte Koordinierbarkeit und Disposition* kann man als Eckpunkte der betrieblichen Flexibilität sehen. Eine weitere Komponente ist die Möglichkeit, verschiedene *Streckenvarianten* zu bilden bzw. auf dem vorhandenen Netz flexible Linienführungen bedienen zu können. In Tabelle 5 werden die untersuchten Verkehrssysteme nach diesen vier Aspekten eingestuft, wobei hierzu als Quellen zur Einstufung (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005), (Alshalalalfah & Shalaby, 2010), (Deutsch, 2003) und (Vuchic, 2007) dienen. Die vier Kategorien werden nach dem bereits im vorhergehenden Kapitel verwendeten Bewertungsschlüssel („sehr niedrig“ bis „sehr hoch“) versehen, woraus in weiterer Folge ein Mittel zu einer gesamtheitlichen betrieblichen Flexibilität gebildet wird.

Es ist festzustellen, dass spurgebundene Verkehrsmittel systembedingt weit weniger flexibel sind als nicht spurgebundene. Der herkömmliche Bus etwa hat bei geänderter Linienführung, Baustellensituationen und Überholbarkeit keinerlei betriebliche Probleme. Während die Straßenbahn dank Kletterweichen (provisorisch aufgesetzte Auslenkung aus dem Bestand auf einen temporären Gleiskörper) längerfristige Hindernisse umgehen kann, werden Verkehrsmittel mit höherer Fahrweg-Kategorie im Allgemeinen unflexibler. Abgeschlossene Systeme wie U-Bahnen und Seilbahnen sind zwar sehr zuverlässig, im seltenen Fall einer Störung aber ebenso unflexibel. Individuelle Lösungen zur Lösung dieser Probleme, wie etwa Betriebsausweichen, können diese Situationen entschärfen, sind jedoch in der Regel sehr aufwändig.

Tabelle 5: Ermittelte Flexibilität der untersuchten Verkehrssysteme.

Einteilung	Verkehrssystem	Ausweich- möglichkeit	Überhol- möglichkeit	bedarfsgerechte Koordinierbarkeit	flexible Liniengestaltung	Flexibilität
Oberflächenverkehr	Bus	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr gut	sehr hoch
	Straßenbahn	mittel	niedrig	hoch	mittel	mittel
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT	gut	hoch	hoch	mittel	hoch
	LRT/ Stadtbahn	niedrig	niedrig	hoch	mittel	mittel
	Spurbus ^{a)}					(mittel)
Schnellverkehr	U-Bahn	niedrig	niedrig	hoch	schlecht	niedrig
	S-Bahn	mittel	mittel	hoch	mittel	mittel
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn	niedrig	niedrig	sehr hoch	schlecht	mittel
	Pendelbahn	sehr niedrig	sehr niedrig	mittel	sehr schlecht	niedrig

^{a)} große Unterschiede zwischen einzelnen Systemen

6.2.3 Sicherheit

In diesem Kapitel wird zunächst eine Definition für die Verkehrssicherheit und deren Vergleichbarkeit ermittelt und in weiterer Folge eine Aussage über die Sicherheit der untersuchten Systeme getroffen. Die Sicherheit eines Verkehrssystems wird gemäß Vuchic (2007, S. 53) in Todesfällen beziehungsweise Sachschaden pro 100 Millionen Passagierkilometer angegeben. Eine alternative Maßeinheit wäre Todesfälle und Sachschaden pro Weg. Offensichtlich wird diese Diskrepanz beim Vergleich einer durchschnittlichen Flugreise und eines durchschnittlichen Fußwegs. Kilometerbedingt ist der Flugverkehr das sicherste Verkehrssystem, selbst mit rapide wachsenden Verkehrsmengen blieb die absolute Anzahl an Unfällen nahezu gleich (Janic, 2000, S. 44ff). Im ÖPNV ist die von Vuchic (2007) erstellte Bewertung der einzelnen Verkehrssysteme auf Basis der Unfälle nach Passagierkilometern aufgrund der vergleichbaren Wegelängen durchaus sinnvoll.

Die Bevölkerung scheint gemäß Stoop & Thissen (1997, S. 108ff) ein gewisses Maß an Risiko bei der Benützung eines Verkehrssystems in Kauf zu nehmen, größere Unfälle ziehen jedoch weiterhin große Aufmerksamkeit und kollektive Bestürzung auf sich. Dies veranschaulicht, dass die subjektive Wahrnehmung der Verkehrssicherheit eines Systems durch die Bevölkerung mitunter von der gemessenen Sicherheit abweicht. Sicherheitsdebatten werden oft nach einzelnen, schwerwiegenden Unglücken lanciert, ungeachtet der langfristigen Sicherheitsentwicklung.

Eine allgemeine Aussage über die Sicherheit einzelner Verkehrssysteme kann lediglich qualitativ getroffen werden, da von Anwendungsfall zu Anwendungsfall eines Verkehrssystems verschiedene Sicherheitsniveaus erreicht werden können. Stoop & Thissen (1997, S. 143ff) beschreiben die Theorie des „normalen Unfalls“ als Zusammenwirkung mehrerer Systemeigenschaften, die das Unfallrisiko bestimmen. So steigt die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls etwa mit steigender Komplexität sowie steigender Anzahl an Schnittstellen zwischen Systemen. Dies erklärt zum Beispiel die nur als mittelmäßig eingestufte durchschnittliche Sicherheit eines konventionellen Bussystems. Durch seine Führung im Mischverkehr und die sich daraus ergebenden zahlreichen Verknüpfungen mit dem IV sind Unfälle kaum vermeidbar. Die U-Bahn auf ihrem eigenen, isolierten Fahrweg und somit ohne Schnittstellen zu anderen Systemen zeichnet sich durch eine sehr hohe Sicherheit aus. Eine Korrelation zwischen Fahrwegkategorien und Sicherheit eines Verkehrssystems ist somit

offensichtlich. Tabelle 6 zeigt die qualitative Bewertung der Sicherheit der Verkehrssysteme und veranschaulicht den Zusammenhang zur Fahrwegkategorie.

Tabelle 6: Sicherheit und Fahrwegkategorie der untersuchten Verkehrssysteme

Einteilung	Verkehrssystem	Sicherheit	Fahrwegkategorie
Oberflächenverkehr	Bus	mittel	C
	Straßenbahn	mittel	C
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT	hoch	B
	LRT / Stadtbahn	hoch	B
	Spurbus	hoch	B
Schnellverkehr	U-Bahn	sehr hoch	A
	S-Bahn	sehr hoch	A
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn	sehr hoch	A
	Pendelbahn	sehr hoch	A

Quellen: (Vuchic, 2007), (Deutsch, 2003) und (Alshalalalfah & Shalaby, 2010)

6.3 Ökonomische Entscheidungskriterien

Ökonomische Kriterien bilden eine weitere Einflussgröße auf die Systemwahl im ÖPNV. An dieser Stelle findet eine Differenzierung ökonomischer Kriterien nach ihrer Ursache statt. Unterschieden werden:

Kosten

weitere ökonomische Folgeerscheinungen.

6.3.1 Investitionskosten

Die *Kosten* für Bau und Betrieb eines Verkehrssystems entstehen durch die Errichtung eines Verkehrssystems. Verschiedene Größen zur Vergleichbarkeit der Systeme sind Baukosten (Investitionskosten), Betriebskosten oder die Kombination der beiden, die Lebenszykluskosten. Da diese Berechnungsmethode jedoch relativ neu ist, konnten keine belastbaren Daten zu Lebenszykluskosten recherchiert werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass es im Bereich der Investitionskosten schwer ist, eine allgemeingültige, quantitative Aussage zu machen, da neben der Wahl des Verkehrssystems die Bauweise des Fahrweges eine weitere große Rolle spielt. Sind etwa die Investitionskosten für eine an der Oberfläche geführte Straßenbahnstrecke nach ITA (2004, S. 21) mit durchschnittlich 8,2 Millionen Euro pro Kilometer angegeben, kostet ein Kilometer U-Bahn an der Oberfläche 24,5 Millionen Euro. Die Bauweise und Linienführung eines Verkehrssystems lässt die Investitionskosten

in einem Verkehrssystem in größerem Ausmaß variieren als die bloße Systemwahl bei gleicher Bauweise. Einer Straßenbahnstrecke an der Oberfläche mit, siehe oben, 8,2 Mio Euro

Investitionsaufwand pro Kilometer Fahrweg stehen 52 Mio Euro für eine Tunnelstrecke bzw. 37 Mio Euro für eine eingebaute Bauweise gegenüber. Während die U-Bahn an der Oberfläche somit 2,6 mal so hohe Investitionskosten hat wie die Straßenbahn, kostet eine Straßenbahn-Tunnelstrecke rund 6,4 mal so viel wie die Führung an der Oberfläche. Demnach ist die Trassenwahl eines Verkehrssystems ebenso wichtig wie die Systemwahl an sich. Eine Trasse an der Oberfläche kann sowohl eine stimulierende als auch eine trennende Wirkung für die unmittelbare Umgebung haben, weshalb genaue Untersuchungen im Vorfeld nötig sind. Auf siedlungsstrukturelle Effekte wie diese wird in weiterer Folge in Kapitel 6.4 näher eingegangen.

Tabelle 7 zeigt eine Aufstellung der Investitionskosten gemäß verschiedenen Literaturquellen, differenziert nach Verkehrssystem und – wenn vorhanden – nach Bauweise des Fahrwegs. Wie die große Streuung der Werte zeigt, ist eine allgemeingültige Aussage nicht möglich, die Investitionskosten müssen projektspezifisch ermittelt und verglichen werden.

6.3.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten eines Verkehrssystems sind analog zu den Investitionskosten von Fall zu Fall zu berechnen, wenngleich qualitative Aussagen getroffen werden können. Vuchic (2007, S. 55) beschreibt Betriebskosten als die *Gesamtheit aller Kosten, die bei regelmäßigem Betrieb eines Systems auftreten*. Dies beinhaltet Energiekosten, Personalkosten sowie Wartungskosten für Fahrzeuge. Die Instandhaltung der Infrastruktur wird nur selten den Betriebskosten zugerechnet. Die Bezugsgröße stellen Platz-Kilometer dar. Platz-km beziehen sich dabei auf verfügbare Fahrzeugkapazität mal den zurückgelegten Fahrzeugkilometern.

Vuchic (2007, S. 539ff) vergleicht Verkehrssysteme qualitativ nach ihren Betriebskosten mit Platz-km als Vergleichsgröße. Demnach sind die Betriebskosten mit zunehmender LF rückläufig. Während die Betriebskosten für Bus- und BRT-Systeme als „mittel“ eingestuft werden, sind jene von Straßenbahn und LRT-Systemen „niedrig“. Ebenfalls „niedrig“ sind automatisierte Systeme, zu denen Seilbahnen sowie U-Bahn und Eisenbahnsysteme gezählt werden. Da erst eine Gegenüberstellung der Betriebskosten pro Platz-km mit der tatsächlichen Auslastung Sinn ergibt, sind diese Einstufungen mit Vorsicht zu genießen. So sind im Vergleich von BRT- zu LRT-Systemen die tatsächlichen Fahrgäste die kritische Größe; Bei eher niedrigen Fahrgastzahlen kann ein BRT-System in der Regel kostensparender betrieben werden, während nahe der Auslastungsgrenze LRT-Systeme klar im Vorteil sind. Gemäß Deutsch (2003, S. 108) sind die reinen Betriebskosten pro Platz-km bei straßenbahnähnlichen Spurbussystemen um rund 35% unter jenen eines LRT-Systems anzusiedeln.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die qualitative Bewertung der untersuchten Verkehrssysteme hinsichtlich ihrer LF. Luke & MacDonald (2003, S. 4) beziffern betriebliche Kosten auf Basis einer Studie zum Vergleich verschiedener Verkehrssysteme zur Erschließung eines städtischen Entwicklungsgebiets (Transport for London, 2000, S. 20ff). Diese Zahlen weichen erheblich von jenen von Deutsch (2003) ab, was veranschaulicht, dass betriebliche Kosten als Entscheidungskriterium zur Systemwahl für ein spezifisches Projekt im Vorfeld genau untersucht werden müssen. Eine allgemein gültige Quantifizierung liefert keine belastbaren Daten.

Tabelle 7: Investitionskosten und Betriebskosten der untersuchten Verkehrssysteme

Einteilung	Verkehrssystem	Investitionskosten					
		Vuchic, 2007 [Mio EUR/km]	Alshalalafah et al, 2010 [Mio EUR/km]	Oberfläche [Mio EUR/km]	ITA, 2003 Hochlage [Mio EUR/km]	Unterirdisch [Mio EUR/km]	Deutsch, 2003 [Mio EUR/km]
Oberflächenverkehr	Bus Straßenbahn	0,4 - 4,4	0,4 - 4,4	8,1	18,5	37 - 52	
		3,7 - 7,4	3,7 - 7,4				
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT LRT / Stadtbahn Spurbus	3,7 - 30	3,7 - 30	8,1	18,5	37 - 52	> 15 > 5
		7,4 - 37	7,4 - 37				
Schnellverkehr	U-Bahn S-Bahn	30 - 74	30 - 74	21,5	31	51 - 61	
		37 - 90	37 - 90				
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn Pendelbahn		2,9 + 3,3 + (1,6 + 10) ^{a)}	9,6	23	93 - 105	

Einteilung	Verkehrssystem	Betriebskosten	
		Vuchic, 2007 qualitativ	Deutsch, 2003 [EUR/Platz-km]
Oberflächenverkehr	Bus Straßenbahn	mittel	0,062 - 0,144
		hoch	0,016 - 0,034
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT LRT / Stadtbahn Spurbus	mittel	0,041 - 0,095
		hoch	0,016 - 0,023
Schnellverkehr	U-Bahn S-Bahn	sehr hoch	0,025 - 0,030
		sehr hoch	0,025 - 0,030
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn Pendelbahn	hoch	-
		hoch	-

a) 1. Wert: Kosten pro km Fahrweg; 2. Wert: Kosten für 2 Stationsbauwerke

6.3.3 Ökonomische Folgeerscheinungen

Unter diesem Titel werden in diesem Kapitel Verkehrssysteme nach ihren ökonomischen Auswirkungen auf ihre Umgebung untersucht. Dabei werden nur tatsächlich monetisierbare Effekte aufgezeigt, wohingegen Folgeerscheinungen, die nur indirekt wirtschaftliche Auswirkungen auf die Umwelt haben, in nachfolgenden Kapiteln behandelt werden. Diese nachhaltigen Auswirkungen könnten einen integralen Bestandteil in der Systemwahl darstellen.

Allgemein unterscheiden Huang & Xia (2011, S. 521ff) zwischen

direkten Effekten und
Indirekten Effekten

eines Verkehrssystems auf die wirtschaftliche Entwicklung einer Stadt.

Direkte Effekte sind demnach Arbeitsplätze und Aufträge, die direkt durch Bau und Betrieb des jeweiligen Verkehrssystems entstehen. Diese beinhalten etwa Planungsaufträge, die Bauausführung, aber auch Versicherungen, Projektmanager, Fahrzeugbauer usw. Durch die internationale Ausschreibung größerer ÖPNV-Projekte ist jedoch unsicher, wie viel dieser Aufträge zur lokalen Wertschöpfung in der Stadt bleiben. Die Größe dieser direkten Effekte auf die Wirtschaft ist demnach gleichzusetzen mit den Investitionskosten und Betriebskosten. Demnach hat ein U-Bahnsystem in der Regel einen weitaus größeren direkten wirtschaftlichen Effekt als etwa die Implementierung eines herkömmlichen Bussystems.

Indirekte Effekte stellen all jene Effekte dar, die der Bau und Betrieb eines ÖPNV-Systems auf die lokale Wirtschaft hat, ohne ein direktes Geschäftsverhältnis miteinander zu unterhalten. Eine Untersuchung zahlreicher Städte durch Mackett & Edwards (1998, S. 236ff) zeigt, dass eines der Motive zur Errichtung eines neuen ÖPNV-Systems die Aufwertung der jeweiligen Stadt ist. Während die Auswirkungen auf das Image der Stadt und somit der Effekte eines ÖPNV-Systems auf die Gesamtentwicklung einer Stadt schwer messbar sind, ist die Immobilienpreisentwicklung entlang implementierter ÖPNV-Linien eine messbare Größe kleinräumiger Entwicklung, direkt zurückzuführen auf das jeweilige Verkehrssystem. Laut (Topalovic, Carter, Topalovic & Krantzberg (2012, S. 334) setzt der Anstieg der Land- und Immobilienpreise etwa ein Jahr vor Errichtung einer neuen ÖPNV-Station ein, beziehungsweise rund drei Jahre nach Bekanntgabe des geplanten Standorts. Während (ältere) Vollbahnsysteme aufgrund ihrer Emissionen und der geographisch trennenden Wirkung mitunter negative Auswirkungen auf die Immobilienpreise in der unmittelbaren Umgebung haben, überwiegen bei LRT-Systemen und Stadtbahnsystemen die positiven Einflüsse. Da Mackett & Edwards (1998, S. 236ff) nachweisen, dass vorhergesagte positive Auswirkungen von LRT-Projekten in der Realität meist nicht erfüllt werden, sind ex-post-Analysen der tatsächlichen Auswirkungen der ÖPNV-Systeme auf Grundstückspreise verlässlicher. Pagliara & Papa (2011, S. 202) listen solche Analysen auf. In jedem Fall hat das neue Verkehrssystem erhebliche Steigerungen der Grundstückspreise zur Folge. Während untersuchte U-Bahnsysteme Wertsteigerungen der Immobilienpreise im Einzugsbereich von Haltestellen von bis zu 32% (Niederlande) bewirkten, führten untersuchte LRT- bzw. Straßenbahnsysteme lediglich zu Steigerungen von maximal 10% für Wohnungspreise, in Großbritannien jedoch zu Steigerungen der Geschäftsmieten im Zentrumsbereich von über 16%. Gemäß Ibeas, Cordera, Dell'Olio, Coppola & Dominguez (2012, S. 371ff) sind die Effekte von Eisenbahn- und U-Bahnsysteme im Allgemeinen größer als jene von LRT-Systemen. Das BRT-System in Bogotá (Kolumbien) führte zu Erhöhungen der Immobilienpreise im

Einzugsgebiet von bis zu 14%. Jedoch erscheinen die demographischen, kulturellen und wirtschaftlichen Unterschiede zwischen europäischen Städten und Bogotá zu groß, um eine allgemeine Aussage über den Einfluss von BRT-Systemen treffen zu können. Eine Modellrechnung für die Auswirkungen des Bussystems in Santander auf die Immobilienpreise naheliegender Liegenschaften brachte Steigerungen von lediglich maximal 2,2%. Mangels Untersuchungen auf diesem Gebiet (und mangels implementierter BRT-Systeme in Europa) ist keine allgemein gültige Aussage über den Vergleich zu Schienensystemen zu treffen. Über den Effekt von Seilbahnen, Spurbussystemen und dergleichen liegen keine ausreichenden Daten vor.

6.4 Siedlungsstrukturelle Entscheidungskriterien

Abgesehen von den – im vorhergehenden Kapitel erläuterten – Auswirkungen auf Grundstückspreise gibt es weitere, schwer quantifizierbare Auswirkungen auf die Stadtstruktur. Holz-Rau & Scheiner (2005, S. 67) untersuchen die Wechselwirkungen zwischen Raumstrukturen und der Verkehrsplanung und kommen zu dem Schluss, dass die Verkehrsplanung einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der städtischen Strukturen hat.

Europäische Städte verfolgen das Leitbild der *kompakten und durchmischten* Stadt (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 34), dessen vier Zielelemente hinsichtlich ihrer Beeinflussung durch verschiedene ÖPNV-Systeme untersucht werden. Die vier Zielelemente sind

hohe Baudichte

Nutzungsmischung

öffentliche Räume

ökologisch aufgewertete Räume

Analog zur Entwicklung der Immobilienpreise wächst entlang neu implementierter ÖPNV-Linien, insbesondere im Einzugsgebiet der Stationen, auch die *Baudichte* (Ibeas, Cordera, Dell'Olio, Coppola, & Dominguez, 2012, S. 371ff). Aufgrund der verbesserten Erreichbarkeit sind diese Gebiete gleichermaßen attraktiv für Gewerbe und Haushalte. Hier gilt ebenfalls, dass übergeordnete Verkehrssysteme wie U-Bahn oder Eisenbahn eine noch größere Wirkung haben als LRT und wohl auch BRT. Eine genaue Differenzierung der Einflüsse der untersuchten Verkehrssysteme ist jedoch mangels Erhebungen nicht möglich. Je höher die Baudichte eines Siedlungsgebietes ist, desto niedriger laut Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 37) der Verkehrsaufwand pro Einwohner.

Ebenfalls zu einem niedrigeren Verkehrsaufwand trägt eine erhöhte *Nutzungsmischung* bei. Zum Beispiel ist die Entfernung zwischen Wohnung und nächstliegendem Lebensmittelgeschäft ausschlaggebend für die Verkehrsmittelwahl des Kunden.

Die Zielelemente Öffentliche Räume und Ökologisch aufgewertete Räume können durch den öffentlichen Verkehr erreicht werden. Im Vergleich zum IV ist der Flächenbedarf eines Öffentlichen Verkehrssystems in Bezug auf die LF gering. Bei Betrachtung eines Querschnitts von einem Fahrstreifen von typischerweise 910 Personen pro Stunde im Motorisierten IV können herkömmliche Bussysteme bis zu 8.000 Personen, LRT Systeme bis zu 20.000 und U-Bahnsysteme bis 70.000 Fahrgäste pro Stunde befördern (Vuchic, 2007, S. 77). Dies zeigt den weitaus geringeren Platzbedarf je Fahrgast. Durch einen Umstieg auf den öffentlichen Verkehr und eine Reduktion der Flächen für den IV kann den Zielelementen entsprochen werden. Gestalterisch bieten Schienenverkehrsmittel aufgrund ihres Oberbaus mehr Möglichkeiten zur Gestaltung in ökologisch aufgewerteten Räumen

als Bussysteme, die einen versiegelten Fahrstreifen benötigen. Abbildung 24 zeigt als attraktives Gestaltungsbeispiel eine Rasengleisstrecke der Straßenbahn Linz. Eine weitere Möglichkeit, Platz an der Oberfläche zu schaffen, ist die Verlegung eines Verkehrssystems in den Untergrund. Aufgrund der hohen Baukosten steigt die Effizienz einer solchen Maßnahme mit der Leistungsfähigkeit. Unterirdische Stationen können laut ITA (2004, S. 13ff) jedoch aufgrund der zu überwindenden Höhenunterschiede oder der Wahrnehmung des Fahrgastes als Angstraum zu Einbußen bei den Fahrgastzahlen führen. Allerdings verhindert die unterirdische Führung eine trennende Wirkung im betroffenen Stadtteil. Insbesondere bei Fahrwegkategorie A ist ein niveaugleiches Queren der Trasse nicht möglich.



Abbildung 24: Rasengleis in Linz (© Gerald Kempel)

6.5 Externe Entscheidungskriterien

Unter Externe Entscheidungskriterien werden in diesem Kapitel all jene Effekte eines Verkehrssystems auf seine Umwelt oder auf Dritte (Zhibin, Wei, Xuedong, Chen, & Yaotian, 2010, S. 325) gesehen, die nicht direkt monetisierbar sind. Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 362ff) führen verschiedene Möglichkeiten an, externe Effekte wie Emissionen einem Geldbetrag gleichzusetzen. Es können Effekte auf ihre *Folgekosten* ermittelt werden, das heißt es werden die hervorgerufenen Schäden monetär bewertet. Analog dazu können, vor allem bei positiven Effekten eines Verkehrssystems, vermiedene Kosten für die Kompensation eines Effekts angesetzt werden, so genannte *Vermeidungskosten*. Eine weitere Möglichkeit stellt die „willingness to pay“ Variante dar, in der durch Befragungen die Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung eines gewissen Effekts ermittelt wird. Diese Methode ist jedoch sehr subjektiv und veranschaulicht das Problem, externe Effekte in monetäre Einheiten umzuwandeln. Analyse- und Vergleichsverfahren zur Systemwahl, die nicht nur in Geldeinheiten rechnen, erscheinen daher sinnvoll, um externe Effekte abzubilden.

In weiterer Folge werden die verschiedenen Verkehrssysteme auf ihre externen Effekte untersucht; dies beinhaltet ökologische Auswirkungen und andere Emissionen, die sich folgendermaßen gliedern:

- *Treibhausgasemissionen*
- *Feinstaubemissionen*
- *Schallemissionen*
- *Vibration bzw. Erschütterung*
- *Energieverbrauch*

6.5.1 Treibhausgasemissionen

Zum Vergleich der Treibhausgasemissionen verschiedener Verkehrssysteme muss zunächst die Bezugsgröße definiert werden. Im Personenverkehr ist diese in der Regel das Produkt aus Fahrleistung und Fahrgastbesetzung, die Passagierkilometer (Rudolph & Wagner, 2008, S. 277). Den weitaus größten Teil des Einflusses verschiedener Verkehrssysteme auf das Klima und den Treibhauseffekt machen deren CO₂-Ausstöße aus (Uherek, et al., 2010, S. 4786). Aus diesem Grund erscheint eine Betrachtung der CO₂-Emissionen eines Verkehrssystems als Beurteilung des Einflusses auf den Klimawandel sinnvoll. Abbildung 25 zeigt einen Vergleich verschiedener Verkehrssysteme hinsichtlich ihres CO₂ Verbrauchs. Während der MIV pro Personenkilometer (PKT) im Schnitt den höchsten CO₂ Ausstoß verursacht, bildet ein Bus mit niedrigem Besetzungsgrad (Off Peak) die Spitze. Ein Bus während der Stoßzeit (Peak) weist wiederum weitaus niedrigere CO₂ Ausstöße pro Personenkilometer auf. Auffällig ist ebenso, dass LRT-Systeme die beste Bilanz der verglichenen Systeme aufweisen.

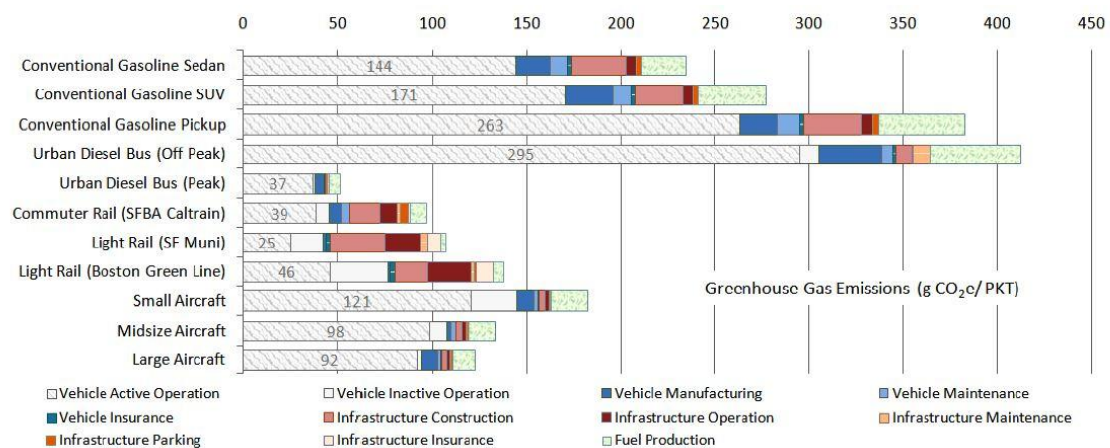


Abbildung 25: CO₂ Emissionen verschiedener untersuchter Verkehrsmittel
Quelle: (Chester & Horvath, 2009, S. 4)

Eine Berechnung der CO₂ Ausstöße für den Betrieb von Seilbahnen auf Basis der Daten von Wagner (2012) ergibt sowohl für Pendelbahnen als auch für Umlaufkabinenbahnen einen – im Vergleich zu anderen Verkehrssystemen – weit geringeren CO₂-Ausstoß. Dieser reicht, je nach Auslastung, von 0,22 g pro Passagierkilometer bis 1,14 g pro Passagierkilometer bei Umlaufbahnen und von 0,06 g Passagierkilometer bis 0,3 g pro Passagierkilometer bei Pendelbahnen. Den Berechnungen liegen verschiedene CO₂ Emissionen zur Stromerzeugung zugrunde, weshalb ein quantitativer Vergleich der Daten nicht belastbar ist, sehr wohl geben sie einen quantitativen Überblick. Tabelle 8 zeigt eine

Bewertung aufgrund der vorhandenen Daten sowie qualitativer Vergleichswerte von Vuchic (2007, S. 521ff):

Tabelle 8: CO₂ Ausstöße der untersuchten Verkehrssysteme im Vergleich.

Einteilung	Verkehrssystem	CO ₂ Emissionen (betrieblich)		qual. Bewertung
		Chester & Horvath 2009 [gCO ₂ /Pkm]	Wagner 2012 [gCO ₂ /Pkm]	
Oberflächenverkehr	Bus	37 - 295		schlecht
	Straßenbahn	25 - 46		gut
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT			mittel
	LRT / Stadtbahn Spurbus ^{a)}	25 - 46		gut (mittel)
Schnellverkehr	U-Bahn	39		gut
	Eisenbahn	39		gut
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn		0,22 - 1,14	sehr gut
	Pendelbahn		0,06 - 0,3	sehr gut

^{a)} LRT-ähnlich bzw. Bus/BRT ähnlich, je nach Antriebssystem

6.5.2 Andere Schadstoffemissionen

Die EU hat Höchstgrenzen für bestimmte Schadstoffe definiert, welche nicht überschritten werden sollten (Uherek, et al., 2010, S. 4783). Die folgenden Schadstoffe sind weltweit jährlich für über 2 Millionen Todesfälle verantwortlich:

- Schwefeldioxid (SO₂)
- Stickoxide (NO_x)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Feinstaubpartikel (PM₁₀)

Schwefeldioxid entsteht bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen und ist für Mensch, Pflanzen- und Tierwelt schädigend. Ein Großteil der Emissionen entsteht durch die Erzeugung von Elektrizität in kalorischen Kraftwerken, wohingegen Treibstoffe für verbrennungsmotorgetriebene Kraftfahrzeuge heutzutage kaum Schwefel enthalten (Chester & Horvath, 2009, S. 4). Bei elektrisch betriebenen Verkehrssystemen wie Seilbahnen und diversen Schienenverkehrsmitteln hängt die SO₂-Bilanz von der Art der Stromerzeugung im Vorfeld ab. Weiters stellt die Fahrzeugproduktion einen nicht zu vernachlässigenden Anteil dar, besonders die Aluminiumverarbeitung gilt als sehr energieaufwändig. Insgesamt ist jedoch anzumerken, dass die SO₂ Emissionen von Fall zu Fall geprüft werden müssen, da sie von anderen Faktoren als nur der Systemwahl abhängen.

Stickoxide (NO_x) führen neben ihrer direkt schädlichen Wirkung auf die menschlichen Schleimhäute zu vermehrter Ozon-Produktion (Uherek, et al., 2010, S. 4785), welches die menschliche Atmung schädigt. Stickoxidemissionen aus dem Verkehrssektor haben vordergründig eine lokale Wirkung, führen jedoch auch auf regionaler und globaler Ebene zu einer Erhöhung des Ozongehalts. Analog zu den Schwefeldioxidemissionen ist die Stickoxidbilanz

eines Verkehrssystems von der Stromproduktion sowie der Fahrzeugproduktion abhängig. Der laufende Betrieb stellt laut Chester & Horvath (2009, S. 5) nur einen Bruchteil der gesamten NO_x -Emissionen während des Lebenszyklus dar. Ausnahme bilden hierbei dieselbetriebene Verkehrssysteme wie etwa Bus und BRT Systeme, da bei der Verbrennung von Dieseltreibstoff verhältnismäßig viel NO_x frei wird.

Kohlenmonoxidemissionen (CO) entstehen durch unvollständige Verbrennung und sind daher im Betrieb bei Verbrennungsmotorgetriebenen Fahrzeugen 40 bis 110 mal höher als bei elektrischen. Bei elektrisch betriebenen verursachen die Fahrzeugherstellung und der Bau der Infrastruktur den Großteil der Emissionen, dies muss aber von Fall zu Fall betrachtet werden. Allgemein lässt sich somit nur feststellen, dass elektrisch betriebene Verkehrssysteme weit geringere (laufende) CO-Emissionen verursachen als verbrennungsmotorgetriebene.

Feinstaubpartikel (PM_{10}) mit einem Durchmesser von maximal 10 μm Durchmesser wirken auf den menschlichen Körper laut Fiala (2006, S. 197) krebserregend. Neben der Industrie, der Erzeugung von Raumwärme oder Land- und Bauwirtschaft stellt der Verkehr eine der Hauptquellen für Feinstaub in Österreich dar. Am Verkehrssektor ist überwiegend der Straßenverkehr durch Abrieb der Gummireifen und Partikelausstoß des Verbrennungsmotors ausschlaggebend. Vardoulakis & Kassomenos (2006, S. 3958) zeigen anhand von Beispielen, dass in urbanen Räumen der Anteil der durch Verbrennungsmotoren ausgestoßenen PM_{10} -Partikel bis zu 59% der gesamt gemessenen Partikel beträgt. Schienengebundene Verkehrssysteme und Seilbahnen verursachen keine relevanten Feinstaubemissionen, wohingegen Dieselmotoren laut Umweltbundesamt (2006) die größte Quelle darstellen. In Mexico City führte allerdings die Umwandlung des ÖPNV Netzes von einem herkömmlichen Bussystem zu einem BRT-System gemäß Wöhrnschimmel et al. (2008, S. 8201) zu Reduktionen des Feinstaubgehaltes von über 30%. Grund dafür sind die weniger zahlreichen, emissionsintensiven Beschleunigungsvorgänge eines Verkehrsmittels der Fahrweg-Kategorie B, verglichen mit einem Bus im Mischverkehr.

Abschließend ist festzustellen, dass keine allgemein gültige, differenzierte quantitative Bewertung für die untersuchten Verkehrssysteme hinsichtlich ihrer Schadstoffemissionen möglich ist. Verbrennungsmotorbetriebene Fahrzeuge verursachen jedoch größere Emissionen unter allen vier untersuchten Schadstoffkategorien. Durch die Schädigung der Atemwege und die kanzerogene Beschaffenheit erscheint es jedoch wichtig, diese Werte projektspezifisch zu evaluieren und in den Entscheidungsprozess einfließen zu lassen.

6.5.3 Schallemissionen

Schallimmissionen auf den Menschen haben, besonders während des Schlafes, eine schädliche Wirkung auf den Organismus (Ising & Maschke, S. 4ff). Diese können psychosozialer Natur sein und sich in Orientierungslosigkeit oder dergleichen äußern, oder physisch das Herzinfarktrisiko anheben. Ausschlaggebend dabei ist der Dauerschallpegel, aber auch die subjektive Wahrnehmung von Lärm. Während sich bei einer Erhebung 25% der Befragten bei Straßenlärm schon bei 61dB äquivalentem Dauerschallpegel „stark belästigt“ fühlten, fühlten sich beim Schienenlärm erst bei 68dB ein Viertel der Befragten „stark belästigt“. Emissionsseitig ist der Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehrsmittel gemäß Stroh (2003, S. 1ff) gering. Ein herkömmlicher Bus verursacht Schallemissionen von 52dB, bei Schnell- und U-Bahn sind es 48 dB. Bei der Straßenbahn sind die Schallemissionen abhängig von der Bauart des Oberbaus. Die Emissionen auf einem

Rasengleisabschnitt liegen bei 50dB, auf einer herkömmlichen Fahrbahn bei 55dB. Während beim Straßenverkehr der Motor der maßgebende Emittent ist, so sind es beim Schienenverkehr die Rollgeräusche.

Schalleinwirkungen können heutzutage EDV-basiert gut simuliert und prognostiziert werden, weshalb eine projektspezifische Untersuchung im Vorfeld in der Regel aussagekräftig ist. Maßnahmen zur Verringerung der Schalleinwirkung sind Lärmschutzwände und innerstädtisch die Führung in Tunnelstrecken oder Einschnitten. Bei Spurbussen und Verkehrssystemen zwischen Bus und Straßenbahn können die Schallemissionen durch Synergieeffekte von Elektromotor und Gummibereifung reduziert werden (Deutsch, 2003, S. 76). Tabelle 9 zeigt eine Aufstellung der Schallemissionen der untersuchten Verkehrssysteme. Für Seilbahnen waren keine quantitativen Werte verfügbar, jedoch sind dabei die Stationen die Hauptemittenten, während entlang des Fahrwegs kaum Schall emittiert wird.

Tabelle 9: Dauerschallpegel der untersuchten Verkehrsmittel

Einteilung	Verkehrssystem	äquivalenter Dauerschallpegel	
		Stroh 2003 [dB]	Deutsch 2003 [dB]
Oberflächenverkehr	Bus	52	
	Straßenbahn	50*-55	
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT	52	
	LRT / Stadtbahn	50*-55	
	Spurbus		< 52
Schnellverkehr	U-Bahn	48	
	Eisenbahn	48	
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn Pendelbahn		

* auf Rasengleis

6.5.4 Vibration/Erschütterung

Die durch den ÖPNV induzierten Erschütterungen und Vibrationen schaden seiner Akzeptanz. Während gemäß Deutsch (2003, S. 77) gummibereifte Fahrzeuge Erschütterungen in vernachlässigbarem Ausmaß erzeugen, führt das Rad-Schiene System mitunter zu starken Vibrationen im Untergrund. Gerade bei Straßenbahnen und LRT-Systemen, die im innerstädtischen Bereich oft nah an Hausmauern geführt werden (müssen), führen Vibrationen oftmals zur Beeinträchtigung der Anwohner. Spezielle Oberbauformen tragen zur Dämpfung dieser Erschütterungen bei.

In Tunnelstrecken ist der Körperschall zwischen Tunnelbauwerk und angrenzendem Untergrund bzw. Bauwerk maßgebend (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 621). Ein entsprechender Schallschutz

bzw. eine Dämpfung des Oberbaus ist daher wichtig, um den Körperschall auf andere Bauwerke zu minimieren.

6.5.5 Energieverbrauch

Analog zu den Treibhausgasemissionen ist die Bezugsgröße zum Vergleich des Energieverbrauches Personenkilometer (Rudolph & Wagner, 2008, S. 277). Weiters wird der Energiebedarf auf die benötigte Primärenergie bezogen (d.h. auf die aus der Umwelt gewonnene Energie vor etwaigen Umwandlungs-, Transport- oder Speicherungsschritten). Abbildung 26 zeigt den Primärenergieverbrauch pro Personenkilometer und abhängig von der Besetzung verschiedener Verkehrssysteme. Sie zeigt klare Effizienzvorteile von Schienenfahrzeugen gegenüber Straßenfahrzeugen, bedingt durch das, im Vergleich zum Gummireifen auf Asphalt, widerstandsärmere Rad-Schiene System. Die Differenzierung innerhalb der schienengebundenen Verkehrsmittel ist abhängig von der Besetzung; der Prognose der Fahrgastzahlen kommt daher bei der Systemwahl ebenfalls eine große Bedeutung zu.

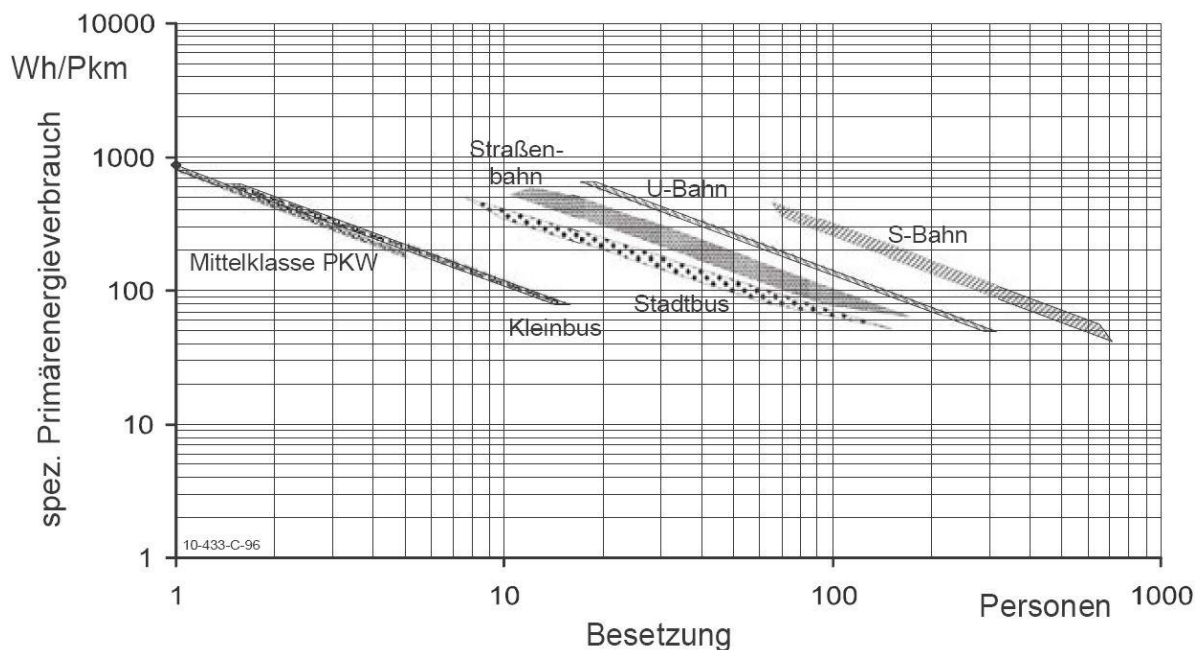


Abbildung 26: Primärenergieverbrauch der untersuchten Verkehrssysteme

6.6 Fahrgastseitige Entscheidungskriterien

6.6.1 Zeitersparnis

Der laut Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 188) am höchsten bewertete Nutzen eines Verkehrssystems für den Fahrgast besteht aus der Reisezeitersparnis im Vergleich zu Lösungsalternativen. Diese Reisezeitersparnis wird in der Regel monetär bewertet und bildet so einen quantifizierbaren Nutzen. Die Zeitersparnis wird pro Fahrgast im ÖPNV-Netz ermittelt und aufsummiert. Dieser finanzielle Nutzen einer Maßnahme findet auch Niederschlag im Entscheidungsprozess und macht in der Regel den Großteil der Nutzenseite aus. Verkehrssysteme mit höherer Reisegeschwindigkeit haben somit in Bezug auf Zeitersparnis den größten Nutzen.

Bei kritischer Betrachtung der Zeitersparnis fällt jedoch auf, dass das tägliche pro Kopf-Mobilitätszeitbudget weitgehend eine Konstante darstellt (siehe Kapitel 2.3.2) und somit die Zeitersparnis kein Entscheidungskriterium im eigentlichen Sinn darstellt. Eine erhöhte Reisegeschwindigkeit führt demnach lediglich zu einer Vergrößerung der Reiseweite und hat damit stadtstrukturelle Auswirkungen. Die Zeitersparnis als Nutzen des ÖPNV ist somit mit besonderer Vorsicht zu genießen und keinesfalls als maßgebende Größe zu sehen.

6.6.2 Akzeptanz

Die Akzeptanz eines Verkehrssystems durch die Fahrgäste kann einen signifikanten Einfluss auf die Fahrgastzahlen haben. Anhand einer Vielzahl an Beispielen zeigt Brezina (2004, S. 39ff), dass die Nutzung von schienengebundenen Verkehrsmitteln signifikant höher ist als jene nicht schienengebundener. In Nantes etwa führte die Inbetriebnahme eines LRT-Systems zu 16% zusätzlichen Fahrgästen, die den ÖPNV bis dahin nicht benutzt hatten. Bei der Umwandlung eines Bussystems zu einem LRT- oder Straßenbahnsystem werden die, meist ohnehin einen Zuwachs vorhersagenden, Prognosen der Fahrgastzahlen häufig übertroffen.

Dieses Phänomen wird durch die permanente optische Präsenz des Verkehrssystems erklärt. Der offensichtliche Fahrweg (Schienen) vermittelt dem Fahrgast eine Angebotsicherheit. Weiters vermittelt er, bei Führung auf einem eigenen Gleiskörper, eine Bevorzugung des ÖPNV gegenüber dem MIV und erleichtert die Orientierung. Innerhalb schienengebundener Verkehrsmittel erfreuen sich die höherrangigen im Allgemeinen aufgrund ihrer höheren Frequenz und Geschwindigkeit größerer Beliebtheit. Keine Aussage gemacht werden kann über Seilbahnen; da kuppelbare Seilbahnen jedoch ein kontinuierliches Angebot darstellen, dessen Betrieb auf den ersten Blick erkennbar ist, wird eine hohe Akzeptanz erwartet. Tabelle 10 gibt eine Abschätzung der systembedingten Akzeptanz durch den Fahrgast, basierend auf Literaturrecherche.

Tabelle 10: Akzeptanz der untersuchten Verkehrssysteme

Einteilung	Verkehrssystem	Fahrgast-Akzeptanz
Oberflächenverkehr	Bus Straßenbahn	niedrig mittel
beschleunigter Oberflächenverkehr	BRT LRT / Stadtbahn Spurbus	mittel hoch hoch
Schnellverkehr	U-Bahn Eisenbahn	sehr hoch hoch
spezialisierte Verkehrssysteme	Kuppelbare Seilbahn Pendelbahn	sehr hoch sehr hoch

6.6.3 Barrierefreiheit & Komfort

Brezina (2004, S. 39) unterscheidet bei der Barrierefreiheit zwischen *ausschließender* und *nicht ausschließender Barrierefreiheit*. Während die *ausschließende*, meist durch physische Barrieren, bestimmte Nutzergruppen ausschließt, erschwert die *nicht ausschließende* generell den Zugang zu einem Verkehrsmittel. Barrierefreiheit ist im deutschsprachigen Raum rechtlich verankert, Anforderungen an Barrierefreiheit müssen in die Planung integriert sein (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 550). Mittlerweile ist es, dank technologischen Sprüngen im Fahrzeugbau sowie integrierter Infrastrukturplanung, jedem untersuchten Verkehrssystem möglich, die geforderte physische Barrierefreiheit zu gewährleisten. Niveaugleiche Einstiege und barrierefreies Erreichen der Bahnsteige sind heutzutage die Norm. Ermöglicht wird dies durch die Niederflurtechnologie von Straßenbahnen und Autobussen, da die Höhe der Bahnsteigkanten im Mischverkehr vorgegeben ist.

Während klassische Pendelbahnen dank der geräumigen Kabinen und dem Aufenthalt in den Stationen den Anforderungen bezüglich Barrierefreiheit entsprechen, bergen Umlaufseilbahnen diesbezüglich Probleme. Die Kabinen bleiben in der Regel in Stationen nicht stehen, sondern durchfahren diese nach Wagner (2012, S. 70) mit einer Geschwindigkeit von rund 0,15 m/s. Zwar ist ein Anhalten möglich, geht aber mit einem Stillstand der kompletten Anlage einher. Durch besondere Betriebsformen ist jedoch auch ein planmäßiger Stillstand der Kabinen im Umlaufbetrieb denkbar. Gerade bei Einseil-Umlaufbahnen führt zudem eine Mitnahme von Rollstühlen oder Kinderwagen zu beengten Verhältnissen in den Kleinkabinen.

Generell ist es möglich, jedes der untersuchten Verkehrssysteme nach den Kriterien und Erfordernissen bezüglich Barrierefreiheit zu gestalten.

6.7 Weitere Einflussfaktoren im Entscheidungsprozess

Neben den bisher genannten möglichen Entscheidungskriterien technischer, betrieblicher, externer oder fahrgastseitiger Natur gibt es weitere Faktoren, die einen Einfluss auf die Systemwahl im urbanen ÖPNV darstellen. In diesem Kapitel werden jene Einflüsse angeführt, die im Entscheidungsprozess mitunter Gewicht bekommen, ohne jedoch die Systemeigenschaften der jeweiligen Verkehrssysteme zu repräsentieren.

6.7.1 Politik

Edwards & Macket (1996, S. 238) merken anhand einer Analyse verschiedener Systementscheidungen an, dass die Systemwahl oft eher auf politischem Willen als auf einer rationalen Bewertung nach definierten Entscheidungskriterien beruht. So werden etwa LRT-Systeme aufgrund ihres, verglichen mit Bus und BRT-Systemen, besseren Images von Seiten der Politik oft bevorzugt. De Bruijn & Veeneman (2009, S. 358) stellen zudem fest, dass die politische Ebene, auf der die Entscheidung getroffen wird, einen Einfluss auf die Systemwahl haben kann. So werden zum Beispiel LRT-Systeme stärker aus nationalen oder EU-Geldern gefördert als Bussysteme, was für die entscheidende Kommune mitunter finanzielle Vorteile trotz eines in Errichtung und Betrieb teureren Verkehrssystems bringt. Durch eine Einflussnahme in der Zielformulierung am Anfang des Entscheidungsprozesses kann dieser nach Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 355) durch Politiker entscheidend beeinflusst werden.

Eine allgemein gültige Aussage, welche Verkehrssysteme durch politische Protektion bevorzugt werden, ist nicht möglich, jedoch führen Edwards & Macket (1996, S. 238) vor Augen, dass

schienengebunden Verkehrsmittel und Verkehrsmittel mit hoher Servicequalität tendenziell bevorzugt werden. Sie werden von der Bevölkerung als klares Bekenntnis zum ÖPNV und als geeignete Konkurrenz zum MIV wahrgenommen. Weiters bilde

6.7.2 Finanzierung

Peistrup (2006, S. 24) erklärt, dass finanzielle Unterstützungen oder Komplettfinanzierungen von ÖPNV-Projekten aus öffentlicher Hand unter folgenden, erwarteten Nutzen für das Allgemeinwohl vergeben werden:

- für Gemeinwohl und Daseinsvorsorge
- zur Verringerung der verkehrsinduzierten Umweltbelastung
- zur Wirtschaftsförderung

In föderalistischen Staaten wie Deutschland und Österreich setzt sich die Finanzierung eines ÖPNV-Projektes meist aus Bundes-, Landes- und kommunalen Anteilen zusammen. Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 357) sehen dabei die Tendenz, dass politische Entscheidungsträger verschiedener Ebenen somit, scheinbar legitimiert durch ihren Finanzierungsanteil, eigene Präferenzen unter den Lösungsalternativen forcieren. Das zeigt, dass – trotz der oben genannten Grundsätze der Förderung des ÖPNV – die Finanzierung die Systemwahl beeinflussen kann.

7 Entscheidungsprozess und Analyseverfahren

In diesem Kapitel wird zunächst der übliche Entscheidungsprozess zur Systemwahl im urbanen ÖPNV beleuchtet. In weiterer Folge werden verschiedene Analyseverfahren präsentiert, die in der Realität zur Anwendung kommen. Diese werden anschließend darauf untersucht, inwieweit sie den – in den vorhergehenden Kapiteln ermittelten – möglichen Entscheidungskriterien Rechnung tragen können.

7.1 Systematik des idealen Entscheidungsprozesses

Die Entscheidung wird im allgemeinen Sprachgebrauch als *die Festlegung auf eine unter mehreren Möglichkeiten* verstanden. Der Entscheidungsprozess gliedert sich gemäß Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 356ff) in bestimmte Phasen. In Abbildung 27 sind diese anschaulich dargestellt.

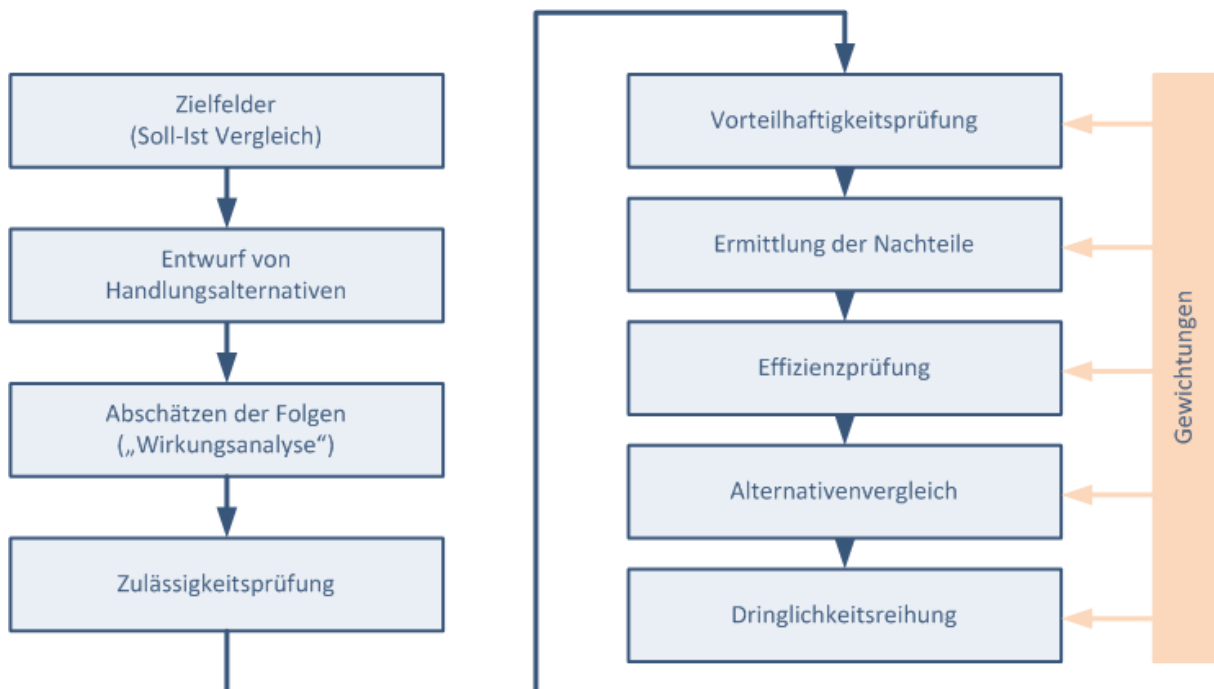


Abbildung 27: Systematik des Entscheidungsprozesses
Quelle: (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 356)

Zu Beginn des Entscheidungsprozesses steht die Formulierung der *Zielfelder*. Hierbei bildet die Definition eines angestrebten Soll-Zustandes, basierend auf vorhandenen Problemen, die Ausgangslage. Das könnte zum Beispiel eine Verlagerung vom MIV auf den ÖPNV sein, da Straßenzüge vom MIV überlastet sind. Der *zielsuchende* Ansatz in dieser Phase schafft die Randbedingungen, in denen sich der weitere Entscheidungsprozess bewegt. De Bruijn & Veeneman (2009, S. 356) stellen jedoch fest, dass in der Systemwahl im ÖPNV häufig ein *zielorientierter* Ansatz gewählt wird, das heißt dass die Lösung (im konkreten Fall handelt es sich um LRT-Systeme) schon parat liegt und die Ziele so formuliert werden, dass sie auf die gewünschte Lösung passen. Ein solcher Zugang verhindert natürlich eine freie Entscheidungsfindung nach ausgewählten, gewichteten Kriterien.

Der Entwurf von *Handlungsalternativen* ist eine Listung aller theoretisch zur Lösung der formulierten Zielfelder geeigneten Alternativen. Dieser Schritt kann als „kreative Phase“ gesehen werden, in dem

auch unkonventionelle Systeme Berücksichtigung finden sollten. Im Fall der Systemwahl im urbanen ÖPNV stellen diese die untersuchten Verkehrssysteme dar.

Die „Wirkungsanalyse“ oder *Abschätzen der Handlungsalternativen* stellt den Effekt jeder einzelnen, in der vorhergehenden Phase aufgelisteten Alternative, dar. Es wird bewertet, inwieweit eine Alternative zur Erfüllung der Zielfelder beiträgt. Solche Wirkungsberechnungen sind elementar für den Verlauf des Entscheidungsprozesses. Eine spätere Gewichtung dieser Wirkungen bildet die Grundlage der Entscheidung.

In der *Zulässigkeitsprüfung* werden Alternativen, die für das Erreichen der formulierten Ziele nicht zulässig sind, aussortiert. Unzulässig sind sie dann, wenn sie gegen bestehende Gesetze oder Grenzwerte verstoßen. Zum Beispiel werden Lösungen, die sich als technisch unmöglich erweisen, in dieser Phase aussortiert. Das Ergebnis einer solchen Zulässigkeitsprüfung ist gemeinhin als „Machbarkeitsstudie“ bekannt.

In der *Vorteilhaftigkeitsprüfung* werden die zur Erreichung der Zielsetzung unvorteilhaften Alternativen eliminiert, und bei der *Ermittlung der Nachteile* werden Alternativen mit gravierenden Nachteilen als Folge ausgeschieden. Es folgen die *Effizienzprüfung*, bei der Vor und Nachteile verschiedener Alternativen im direkten Vergleich gegenüber gestellt werden, sowie *Alternativenvergleiche*, in denen – jeweils paarweise – Alternativen miteinander verglichen werden. Am Schluss des Entscheidungsprozesses steht eine Dringlichkeitsreihung, in der eine Lösungsalternative die höchste Priorität bzw. den Zuschlag erhält. Während dieser letzten fünf Schritte fließt eine subjektive Gewichtung verschiedener Aspekte und Entscheidungskriterien mit ein. Diesen *Gewichtungen* kann mittels verschiedener Analysemethoden Rechnung getragen werden. Das heißt, die letzten fünf Schritte müssen nicht wie genannt ablaufen, sondern können durch Verfahren ersetzt werden, die all ihre Aspekte berücksichtigen.

Emberger, Pfaffenbichler, Jaensirisak & Timms (2007, S. 3ff) sehen den idealen Entscheidungsprozess ähnlich gegliedert als *plangeleiteten Entscheidungsansatz*. Dieser steht im Gegensatz zum *visionsgeleiteten* Ansatz, in dem ein individueller Entscheidungsträger seine Vision deklariert und politische Instrumente zur Erreichung dieses Zustandes einsetzt, sowie zum *konsensgeleiteten* Ansatz, der durch Verhandeln verschiedener Akteure erarbeitet wird. Der plangeleitete Ansatz durchläuft, analog zur vorher beschriebenen Systematik des Entscheidungsprozesses, verschiedene Phasen von der Problemerkennung, der Zieldefinition bis hin zur Erstellung von Alternativen, deren Evaluierung und Entscheidungsfindung. Dazu kommen noch die Phasen der Implementierung, der Evaluation bzw. des Vergleichs der Alternativen und der laufenden Überprüfung und des Monitoring des fertiggestellten Projektes. Die Phase der Evaluierung bzw. des Vergleichs verschiedener Lösungsalternativen wird mittels standardisierten Verfahren zur Analyse und Bewertung durchgeführt, welche im folgenden Kapitel vorgestellt werden.

7.2 Analyseverfahren

In diesem Kapitel werden jene Verfahren beleuchtet, die die verschiedenen Alternativen zur Erreichung der Zielfelder des Entscheidungsprozesses miteinander vergleichen und somit zur Systementscheidung führen. Im gemäß Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 356ff) und Emberger, Pfaffenbichler, Jaensirisak & Timms (2007, S. 3ff) idealen Entscheidungsprozess findet eine Gewichtung verschiedener Entscheidungskriterien im Rahmen standardisierter Verfahren statt. Unter

dem Überbegriff Nutzen-Kosten-Untersuchungen (NKU) versteht Hoffmann (2013, S. 48) die „rationale und transparente Gegenüberstellung und Bewertung von positiven oder negativen Wirkungen von Unternehmungen.“ Vor der Durchführung einer solchen NKU ist zu gewährleisten, dass gegen die zu untersuchenden Lösungsalternativen keine rechtlichen oder technischen Ausschließungsgründe existieren. Die Vorteile eines solchen standardisierten Analyseverfahrens überwiegen gegenüber den Nachteilen, wenn eine Reihe an Kriterien erfüllt ist:

- *Nachhaltigkeitskriterium*: Es erfordert eine nachhaltige Ausrichtung der Unternehmung zur Erreichung der Zielsetzung.
- *Irrelevanzkriterium*: Auswirkungen mit signifikantem Einfluss dürfen nicht vernachlässigt werden.
- *Zuverlässigkeitskriterium*: Die Streuung der Grundlagendaten und deren Messgenauigkeit müssen beachtet werden.
- *Durchschnitts- und Killkriterium*: Durch Bildung von Durchschnitten dürfen keine Killkriterien oder Extremwerte verschleiert werden.
- *Zumutbarkeitskriterium*: Akzeptierte Negativwirkungen müssen Beteiligten dennoch zumutbar sein.
- *Wirtschaftlichkeitskriterium*: Auch in ungünstigen Fällen ist eine ausreichende Rendite sicherzustellen.
- *Transparenzkriterium*: Daten, Akteure und vor allem Gewichtungen in der Bewertung sind offenzulegen.
- *Kommunikationskriterium*: Eine einwandfreie Kommunikation und Verständlichkeit für die Beteiligten ist sicherzustellen.

Sind diese Kriterien erfüllt, ergeben sich eine Reihe an standardisierten Verfahren, die in der Systemwahl im urbanen ÖPNV zur Anwendung kommen (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 367). Die folgenden Analyseverfahren werden im weiteren Verlauf einzeln beleuchtet und auf ihre Eignung zur Berücksichtigung der ermittelten möglichen Entscheidungskriterien untersucht:

- *Wirkungsanalyse (WA)*
- *Nutzwertanalyse (NWA)*
- *Kosten-Wirksamkeitsanalyse (KWA)*
- *Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)*
- *Lebenszykluskostenanalyse (LCC)*
- *Multikriterienanalyse (MKA)*

7.2.1 Wirkungsanalyse (WA)

Die WA, in der Systematik des Entscheidungsprozesses einer der ersten Schritte, kann auch als einzige Analysemethode herangezogen werden. Hoffmann (2013, S. 49) beschreibt sie als eine tabellarische Zusammenfassung aller relevanter Auswirkungen eines Projektes auf seine Umwelt. Dabei werden sowohl qualitative als auch quantitative Auswirkungen aufgelistet. Die Auswirkungen können den jeweiligen Zielfeldern zugeordnet werden. Da keine Zusammenführung der verschiedenen Auswirkungen zu einem formalisierten Wert stattfindet, sondern nur verbalisierte positive und negative Wirkungen aufgezeigt werden, lässt die WA einen großen Spielraum zur Gewichtung und Interpretation der Ergebnisse.

Nach der Definition der Zielfelder sowie der möglichen Lösungsalternativen werden dabei die Untersuchungskriterien abgeleitet und mit qualitativen oder quantitativen Indikatoren konkretisiert. Ergebnis ist eine Wirkungstabelle zu allen Planfällen, welche im Idealfall mittels Sensitivitätsanalyse auf ihre Stabilität zu testen ist. Am Ende steht eine Empfehlung für eine der Lösungsvarianten. Ein bestimmendes Wirkungsfeld stellt in der Regel die Zeitersparnis durch das gewählte ÖPNV System dar. Wie in Kapitel 6.6.1 erläutert, ist diese Kenngröße jedoch weniger als Zeitersparnis, sondern eher als siedlungsstrukturelle Einflussgröße zu deuten.

Fazit:

Durch die freie Abwägung der verschiedenen Entscheidungskriterien, ohne in einem formalisierten Gesamtwert übergeführt zu werden, lässt diese Methode einen großen Spielraum zur individuellen Gewichtung einzelner Kriterien. Es können somit auch schwer quantifizierbare (z.B. externe) Effekte adäquat berücksichtigt werden. Kosten einer Maßnahme können ebenso als (negative) Auswirkungen verbalisiert abgebildet werden. Da die Gewichtung dabei aber in der Hand des Entscheidungsträgers liegt, ist eine rationale Bewertung in Übereinkunft mit beteiligten Akteuren wichtig, um breite Zustimmung für eine Alternative zu erlangen. Durch das Fehlen einer bindenden Festlegung auf Gewichtungen schon früher im Analyseprozess ist es bei der WA möglich, einzelne Alternativen mittels gezielter Bewertung einzelner Zielfelder zu bevorzugen.

7.2.2 Nutzwertanalyse (NWA)

Die NWA vereint alle Auswirkungen einer Maßnahme und transformiert diese in einen „Zielerreichungsgrad“ (Hoffmann, 2013, S. 49). Zunächst werden für die eingangs definierten Zielfelder und Lösungsalternativen sogenannte Zielertragsmatrizen erstellt (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 373), welche in weiterer Folge mittels Normierung der Zielerträge zu Zielerreichungsgraden transformiert werden. Im nächsten Schritt findet die Gewichtung der einzelnen Zielerreichungsgrade mittels eines dimensionslosen Punktesystems (analog zur Priorität des jeweiligen Zielfelds) statt. Die nun erhaltenen, schon gewichteten Teilnutzwerte für jedes Jahr der Nutzungsdauer werden in der Wertesynthese mittels Addition zum dimensionslosen Gesamtnutzwert jeder Alternative addiert. Die Gesamtnutzwerte der einzelnen Alternativen lassen sich im Anschluss quantitativ vergleichen. Nach einer Sensitivitätsanalyse zur Testung der Stabilität ergibt das Maximum aller ermittelten Gesamtnutzwerte die Empfehlung für eine Lösungsvariante.

Fazit:

Die NWA stellt ein – im Vergleich zur WA – komplexes Modell dar, wodurch die Gewichtung der einzelnen Zielfelder großer Sorgfalt bedarf und wenn möglich durch Sensitivitätsanalysen gestützt werden sollte (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 373). Durch die Definition der Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Kriterien findet die Gewichtung schon statt, bevor das Gesamtergebnis absehbar ist. Dadurch erscheint die NWA stabiler gegenüber irrationaler Bevorzungen einzelner Alternativen als die WA.

Die NWA bildet jedoch keine Kosten ab, sondern lediglich den Nutzen einer Maßnahme. Ein Bezug zu den Kosten ist jedoch bei großen, meist aus öffentlicher Hand finanzierten, Infrastrukturprojekten wie beim Bau von Durchmesserlinien elementar. Darum eignet sich eine reine NWA nicht zur Entscheidungsfindung zur Systemwahl im urbanen ÖPNV.

7.2.3 Kosten-Wirksamkeitsanalyse (KWA)

Die KWA basiert auf der Nutzwertanalyse, berücksichtigt jedoch die Kosten einer Maßnahme. Gleich der NWA werden bis zur Wertesynthese die Zielerreichungsgrade errechnet, anschließend jedoch mittels Division durch die anfallenden Kosten der jeweiligen Maßnahmen dividiert. Dafür werden die Maßnahmenkosten diskontiert auf die Nutzungsjahre verteilt. Somit kann der Nutzwert pro Nutzungsjahr durch die Maßnahmenkosten zum Kostenwirksamkeitsquotienten (KWQ) einer Maßnahme dividiert werden. Die Maßnahme mit dem höchsten KWQ ist die empfohlene Lösungsvariante.

Fazit:

Die KWA beruht auf der NA und teilt dadurch auch deren Vorteile. Das Berechnungsmodell ähnelt jenem der NWA und ist durch die Berücksichtigung der diskontierten Maßnahmenkosten noch erweitert, was eine sorgfältige Bearbeitung verlangt. Zwar wird der Nutzen einzelner Maßnahmen nicht monetär dargestellt, durch die Division durch einen Geldbetrag wird jedoch der Bezug zu einem Geldwert hergestellt. Die Gewichtung einzelner Entscheidungskriterien, wie zum Beispiel externer Effekte, muss somit nachvollziehbar begründet werden. Das Verfahren scheint dank der Abbildung der Kosten prinzipiell für die Systemwahl im urbanen ÖPNV geeignet zu sein, jedoch kommt durch den Bezug nicht monetärer Werte zu einer Geldeinheit der Gewichtung besondere Bedeutung zu.

7.2.4 Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)

Ziel der NKA ist laut Hoffmann (2013, S. 49) eine „möglichst vollständige Monetarisierung der relevanten Auswirkungen einer Unternehmung (Maßnahme), sowohl für die Kosten der Unternehmung, als auch die daraus resultierenden Ergebnisse in Form eines positiven oder negativen Nutzens“. Zur Entscheidung können zwei ermittelte Werte herangezogen werden: entweder das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) als Effizienzkriterium oder die Nutzen-Kosten-Differenz (NKD) als Ertragskriterium. Nach der Festlegung der Zielfelder und der möglichen Lösungsvarianten ist eine Auswahl der für die Systemwahl relevanten Entscheidungskriterien nötig. Innerhalb dieser Kriterien müssen nun für jede Maßnahme Indikatorwerte definiert werden und diese anschließend monetär bewertet werden, um den Nutzen als Geldwert ausdrücken zu können. Analog zu dem nun monetär ausgedrückten Nutzen werden auch die Kosten der einzelnen Maßnahmen aufgeführt. Ähnlich der KWA werden in diesem Fall sowohl Nutzen als auch Kosten diskontiert über die Nutzungsjahre aufgeteilt. Es folgt eine Sensitivitätsanalyse zur Überprüfung der Stabilität der Ergebnisse. Das Maximum von NKD oder NKV kann zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. Während das NKV das Verhältnis von Kosten zu Nutzen relativ darstellt, ergibt die NKD den Absolutgewinn einer Maßnahme.

Fazit:

Die NKA ermittelt zwei Ergebnisgrößen, einerseits das NKV, andererseits die NKD. Während das NKV einen guten Indikator für die Effizienz eingesetzter Gelder erkennen lässt, bevorzugt die NKD in der Entscheidungsfindung tendenziell größere Maßnahmen (Steierwald, Kühne, & Vogt, 2005, S. 370). Das NKV eignet sich demnach aufgrund der großen Kosten besser für Entscheidungen zur Systemwahl im ÖPNV.

Das Kernproblem der NKA ist die Notwendigkeit, jedes Kriterium monetär zu bewerten, um es im Entscheidungsprozess berücksichtigen zu können. Das setzt voraus, dass Marktpreise für diese Wirkungen existieren. Kann etwa der Zeitgewinn für Fahrgäste relativ einfach monetär bewertet werden, so erfordern etwa externe Effekte die Einführung von Hilfsgrößen wie Vermeidungskosten oder Folgekosten. Diese geben den Geldbetrag zur technischen Kompensation der Auswirkungen bzw. zu den dadurch entstehenden Mehrkosten an.

Insgesamt scheint die NKA – gerade im Verkehrswesen – nicht die optimale Analysemethode zu sein, da die Gewichtung einzelner (z.B. externer) Effekte nicht weiter priorisiert werden kann, sondern nur auf Marktpreisen basiert.

7.2.5 Lebenszykluskostenanalyse (LCC)

Die LCC-Analyse ist vergleichbar mit der NKA, bildet jedoch Kosten und Nutzen einer Maßnahme über deren gesamte Nutzungsdauer (Lebenszyklus) ab. Am Anfang stehen nach wie vor die Formulierung der Zielfelder und Lösungsalternativen. Analog zur NKA werden die für die LCC-Analyse relevanten Kriterien und Indikatorwerte konkretisiert. Die Indikatorwerte für maßgebende Phasen im Lebenszyklus werden berechnet und anschließend monetär bewertet. Im Unterschied zur NKA werden nun die ermittelten Indikatorwerte für verschiedene Lebensphasen der Maßnahme ab Anfallzeitpunkt diskontiert, woraus sich im Vergleich mit den Kosten die jährliche Rendite (Annuität) einer Maßnahme ergibt, welche als Entscheidungskalkül herangezogen wird. Mittels der LCC-Analyse können, durch genaue Abbildung der Zahlungsströme, Teilbilanzen für verschieden involvierte Akteure gezogen werden. So können etwa Zwischenbilanzen für Investor, Nutzer oder Dritte gebildet werden. In der Wertesynthese werden die Indikatorwerte verknüpft und der Amortisationszeitpunkt einer Maßnahme ermittelt.

Im Vergleich ist bei gleicher Nutzungsdauer die Lösungsalternative zu wählen, die den größten positiven Kapitalwert aufweist, bei unterschiedlichen Nutzungsdauern jene mit der höchsten Annuität. Eine Sensitivitätsanalyse zur Überprüfung der Ergebnisstabilität führt schließlich zu einer Empfehlung einer Maßnahme.

Fazit:

Die LCC-Analyse resultiert in einer eindeutigen Empfehlung für eine der Lösungsalternativen, unabhängig, ob diese auf die gleiche Nutzungsdauer bemessen sind. Sie bildet die Kosten über die gesamte Nutzungsdauer ab und gibt somit die umfassendste Bewertung aller vorgestellten Analysen. Da diese Methode jedoch erst in ihrer Reifephase steckt, gibt es noch keine langfristigen Erfahrungswerte.

Ein ähnliches Problem wie die NKA birgt die LCC-Analyse in der Notwendigkeit, alle Auswirkungen monetär darzustellen. Externe Effekte lassen sich nur schwer durch Marktpreise bewerten, ein außerordentliches Priorisieren dieser Punkte ist somit nicht mehr möglich. Weiters müssen für jegliche anfallende Kosten und Auswirkungen die Anfallzeitpunkte im Vorhinein ermittelt werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass die LCC-Analyse ein Instrument ist, mit dem, bei vorhandenen Daten, die umfassendste Bewertung einer Maßnahme möglich ist. Ein Problem stellt jedoch die Abhängigkeit monetärer Bewertungen der verschiedenen Entscheidungskriterien dar. Gerade externe Effekte und fahrgastseitige Kriterien sind nur schwer monetär zu bemessen.

7.2.6 Multikriterienanalyse (MKA)

Da Entscheidungsprozesse, besonders bei Infrastrukturprojekten, selten nur ein Zielfeld haben, sondern eine Vielzahl verschiedener, voneinander abhängiger Zielfelder, ist laut Tudela, Akiki & Cisternas (2005, S. 415) eine Multikriterienanalyse angebracht. In diesem Fall wird als Vertreter der MKA der Analytische Hierarchieprozess (AHP) beschrieben. Er entspricht weitgehend dem von Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 375ff) beschriebenen „Paarweisen Vergleich von Varianten“.

Das Prinzip dieser Methode ist, einen komplexen Entscheidungsprozess mit vielen Zielfeldern in eine hierarchische Struktur umzuwandeln, mit dem Hauptziel und anhängenden sekundären Kriterien usw. Zu Beginn steht, wie bei den bereits vorgestellten Phasen, die Definition der Zielfelder, der Entscheidungskriterien und der Lösungsalternativen. Anschließend werden die Entscheidungskriterien beispielsweise durch Experten, Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit im paarweisen Vergleich nach ihrer Wichtigkeit sortiert. Letztlich bekommen alle Entscheidungskriterien durch ein standardisiertes Punktesystem eine bestimmte Position in der Hierarchie.

Ebenfalls durch paarweisen Vergleich werden im Anschluss die Lösungsalternativen auf deren Erfüllung der Entscheidungskriterien getestet. Diese werden ebenfalls mittels Punktesystem nach ihrer Eignung gereiht.

Danach wird durch ein (hier nicht weiter ausgeführtes) mathematisches Modell eine präzise Gewichtung aller Entscheidungskriterien auf Basis des vorangegangenen paarweisen Vergleichs vorgenommen. Durch Gegenüberstellung mit den Eignungen der einzelnen Lösungsalternativen ergibt sich eine klare Reihung der Maßnahmen gemäß ihrer Eignung auf die definierte Hierarchie der Zielfelder und Entscheidungskriterien.

Fazit:

Die AHP als Beispiel einer Multikriterienanalyse ermöglicht bei der Bewertung und Reihung der Entscheidungskriterien eine breite Beteiligung von Experten, Entscheidungsträgern usw. Allerdings erfordert sie ein zeitaufwändiges und genaues Verfahren zur Bewertung. Die in weiterer Folge angestellten Berechnungen zur Gewichtung der Kriterien sind aufwändig und können nur EDV-gestützt berechnet werden. Im Vergleich zur NKA, welche durch die Grundrechnungsarten abgedeckt ist, bedeutet das einen erheblich komplexeren Rechenweg.

Zur Berücksichtigung verschiedener Entscheidungskriterien, ob monetär bewertet oder qualitativer Natur, eignet sich dieses Analyseverfahren hervorragend. Ein Vergleich von NKA und AHP in einem konkreten Fall (Tudela, Akiki, & Cisternas, 2005, S. 422ff) führen auf unterschiedliche Empfehlungen. Im konkreten Fall wurde das Ergebnis der AHP bevorzugt, da diese externe Effekte besser abbilden konnte.

7.2.7 Eignung der verschiedenen Analyseverfahren zur Systemwahl im urbanen ÖPNV

Auf Basis der zu den jeweiligen Analyseverfahren verfassten Fazite stellt Tabelle 11 eine Übersicht der Verfahren und ihrer Eignung nach bestimmten, für die Entscheidung zur Systemwahl im ÖPNV relevanten, Gesichtspunkten dar. Die erste Kategorie ist hierbei der Berechnungsaufwand, der die Komplexität des Verfahrens an sich beleuchtet. Hierbei sind MKA und LCC-Analyse die rechenaufwändigsten, während die reine WA relativ einfach zu berechnen ist. Im Bereich der erforderlichen Datensicherheit, die angibt, wie stark sich Unschärfen der verfügbaren Daten auf das Endergebnis auswirken können, bilden NKA und LCC-Analyse die Schlusslichter. Die MKA ist aufgrund ihres jeweils paarweisen Vergleichs von Entscheidungskriterien und Lösungsvarianten relativ stabil gegenüber unscharfen Datensätzen. Die Abbildung nicht monetär dargestellter Kriterien ist gerade bei Infrastrukturen, aufgrund ihrer vielfältigen Auswirkungen auf die Umwelt, von elementarer Bedeutung. Während NKA und LCC-Analyse alle Effekte in einen Geldwert umwandeln müssen, um sie im Verfahren zu berücksichtigen, kommen die anderen lediglich mit einer Gewichtung des jeweiligen Entscheidungskriteriums aus. Die MKA ermittelt diese Gewichtung aufgrund des paarweisen Vergleichs.

Die Multikriterienanalyse eignet sich im Allgemeinen aufgrund der vielfältigen Zielfelder und der zahlreichen involvierten Akteure offenbar am besten zur Entscheidungsfindung in der Systemwahl.

Tabelle 11: Vergleich der untersuchten Analyseverfahren

Rechenaufwand	Rechen- aufwand	erforderliche Datensicherheit	Abbildbarkeit nicht monetärer Kriterien
Wirkungsanalyse (WA)	sehr niedrig	niedrig	gut
Nutzwertanalyse (NWA)	niedrig	mittel	gut
Kosten-Wirksamkeitsanalyse (KWA)	niedrig	mittel	gut
Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)	mittel	hoch	mittel
Lebenszykluskostenanalyse (LCC)	hoch	hoch	mittel
Multikriterienanalyse (MKA)	hoch	niedrig	sehr gut

8 Untersuchung realer Entscheidungsprozesse

In diesem Kapitel werden zwei reale, laufende Entscheidungsprozesse zur Systemwahl im urbanen ÖPNV beleuchtet. Besonderes Augenmerk wird dabei auf etwaige Unterschiede zwischen dem in Kapitel 7.1 beschriebenen „idealen Entscheidungsprozess“ und der realen Entscheidungsfindung gelegt. Die Projekte werden kurz vorgestellt und anschließend die angewendeten Instrumente zur Entscheidungsfindung beschrieben. Basis dieses Abschnittes sind Gespräche mit – jeweils in die Planung involvierten – Akteuren des Entscheidungsprozesses. Es wurden bewusst laufende Entscheidungsprozesse gewählt, da so eine kritische Betrachtung deren Transparenz möglich ist.

Beide Fälle sind, gemäß der Abgrenzung des Untersuchungsgebietes, Systementscheidungen für Durchmesserlinien in Großstädten unter einer Million Einwohner. In Linz stehen zwei Entscheidungsfelder im Fokus: Neben der Diskussion, ob eine weitere Straßenbahnquerung der Innenstadt an der Oberfläche oder unterirdisch geführt werden soll, wird auch das Umspuren einer ÖBB-Strecke zu einem regionalen „Tramtrain“ Konzept diskutiert. In Graz wird neben einer zweiten Straßenbahnquerung der Innenstadt auch eine Lösung mittels Seilbahn in Erwägung gezogen.

8.1 Zweite Straßenbahnachse Linz

Eines von zwei Projekten, die in diesem Kapitel untersucht werden¹, ist die *Regiotram* auf der Trasse der bestehenden Mühlkreisbahn. Momentan wird in Oberösterreich, ähnlich wie in Niederösterreich, wo diese bereits durch das Land Niederösterreich erfolgt ist, eine Übernahme von ÖBB-Regionalbahnen durch das Land Oberösterreich verhandelt. Eine dieser Bahnen ist die Mühlkreisbahn, die das nordwestliche Umland der knapp 200.000-Einwohner-Stadt Linz entlang der Donau erschließt. Sie ist als nicht elektrifizierte Vollbahn mit einer Spurweite von 1435mm ausgeführt. Diese von Pendlern stark frequentierte Bahn endet in einem Kopfbahnhof nördlich der Donau im Stadtteil Urfahr, lediglich ein, im Personenverkehr nicht nutzbares Gleis führt über eine alte Stahlfachwerkbrücke über die Donau und dient zum Anschluss an die Westbahnstrecke, wird aber lediglich für Überstellfahrten im Güterverkehr genutzt. Verkehrszählungen 2001 ergaben, dass lediglich 8% der Pendler, die die Mühlkreisbahn nutzen, auch tatsächlich ihr Ziel im Stadtteil Urfahr haben, rund 70% der Pendler müssen anschließend auf den städtischen ÖPNV umsteigen, um über die Donau in die Innenstadt zu gelangen. Aus diesem Grund wurde die Idee geboren, die Mühlkreisbahn von 1435mm auf die Spurweite des städtischen Straßennetzes von 900mm umzuspuren, um diese als Durchmesserlinie durch die Innenstadt zu führen.

Das zweite Projekt stellt eine zweite Straßenbahnachse durch die Linzer Innenstadt dar, eine Durchmesserlinie zur Entlastung der bisher einzigen Donauquerung auf der Nibelungenbrücke. Abbildung 28 zeigt den Verlauf der Bestandsstrecke und die neue Trasse, wobei nach Letztstand unterirdisch geführte Passagen gestrichelt dargestellt sind.

¹ Die über das Praxisbeispiel gewonnenen Erkenntnisse beruhen, neben extra angeführten Literaturquellen und Zeitungsartikel auf Gesprächen mit Klaus Hölzl aus der Abteilung Gesamtverkehrsplanung und Öffentlicher Verkehr des Landes Oberösterreich. Ausgenommen davon ist der letzte Unterpunkt, Fazit, in dem eine persönliche Bewertung des beobachteten Entscheidungsprozesses stattfindet.

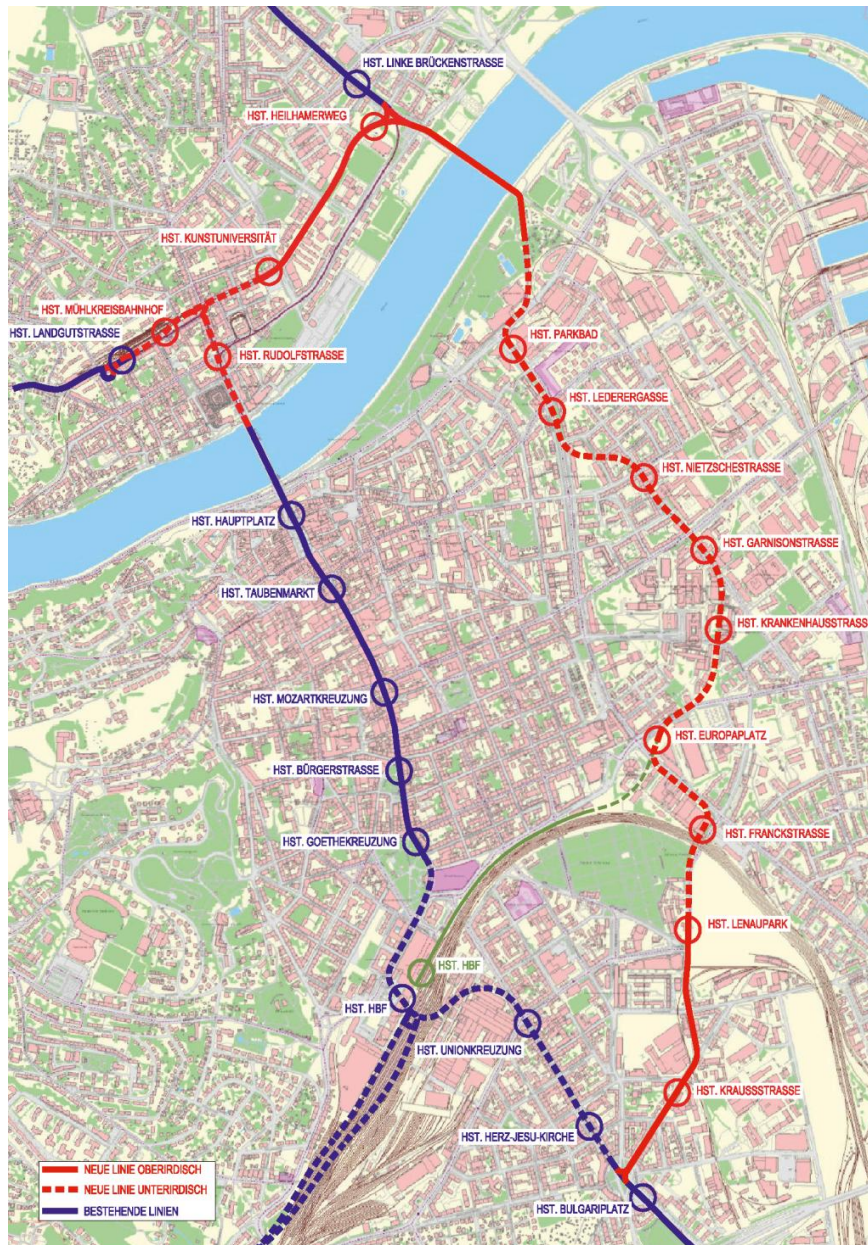


Abbildung 28: 2. Straßenbahnachse durch Linz. Quelle: (Hubmann, 2012)

8.1.1 Entscheidungsfelder

Im Wesentlichen sind zwei Entscheidungsfelder auszumachen:

- *Wahl des Verkehrssystems zur Erschließung entlang der bestehenden Mühlkreisbahn*
- *Entscheidung über die Führung der 2. Straßenbahnachse durch die Innenstadt an der Oberfläche als herkömmliche Straßenbahn oder unterirdisch als Stadtbahnssystem*

Weitere mögliche Entscheidungsfelder, wie die Systemwahl zur 2. leistungsfähigen ÖPNV-Achse durch die Linzer Innenstadt, standen nicht zur Debatte, da aus betrieblichen Gründen die Ausführung als Straßenbahn vorausgesetzt wurde.

8.1.2 Angewendete Analyseverfahren

Beide Entscheidungsfelder stehen im politischen Fokus (Nachrichten.at, 2013). Die politischen Entscheidungsträger haben sich früh zu ihren Präferenzen bekannt, womit ein objektiver Entscheidungsprozess erschwert wird. Im ersten Entscheidungsfeld wurde bisher eine Machbarkeitsstudie erstellt, die laut Presseaussendung des zuständigen Landesrats die Sinnhaftigkeit des Projektes nachweist (Held, 2013). Diese Machbarkeitsstudie ist nicht öffentlich zugänglich, ein Variantenvergleich gegenüber anderen Verkehrssystemen wurde bisher nicht durchgeführt.

Der Grundsatzbeschluss zur Errichtung einer zweiten Straßenbahnachse durch Linz wurde politisch einstimmig im Linzer Rathaus verabschiedet, wodurch die Frage der Systemwahl nie öffentlich gestellt wurde. Die weitere Konkretisierung der Trassenwahl, vor allem aber die Frage der Führung an der Oberfläche oder unterirdisch, wurde im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Analyse, die jedoch nicht öffentlich zugänglich gemacht wurde, abgehandelt. Die von den Linzer Verkehrsbetrieben favorisierte, großteils unterirdisch geführte Trasse würde gemäß Beurle (2011) über 60 Millionen Euro kosten, ein Vielfaches einer Führung an der Oberfläche. Ein Vergleich von NKAs der beiden Varianten liegt nicht vor. Vielmehr wird an der Machbarkeit einer oberirdischen Führung gezweifelt, da diese unüberwindbare Konflikte mit dem MIV verursachen würde.

8.1.3 Spezifische Entscheidungskriterien

Besondere, ortsspezifische Entscheidungskriterien stellen der Denkmalschutz der ÖBB-Donaubrücke, sowie geschäftstreibende Anrainer der neuen Straßenbahnachse dar.

Die Pläne für die neue Donaubrücke waren lange Zeit ungewiss, da die alte ÖBB-Brücke, an deren Stelle auch die neue Donauquerung ihren Platz finden sollte, unter Denkmalschutz stand. Aufgrund des Bedarfs aufwändiger Sanierung und des schlechten Zustands beantragte die ÖBB die Entlassung aus dem Denkmalschutz, welcher schließlich stattgegeben wurde (der Standard, 2013). Eine Führung der Straßenbahnlinie über die renovierte, ehemalige ÖBB-Brücke wäre sicherheitstechnisch nicht möglich gewesen. Zwar wäre der Lichtraum zwischen den Fachwerkprofilen für zwei Gleise ausreichend gewesen, jedoch hätten Sicherheitsabstände zum Evakuieren der Straßenbahnen im Notfall nicht eingehalten werden können.

Ein weiteres Entscheidungskriterium stellten die Gewerbetreibenden entlang der neuen Straßenbahnachsen dar. Sprachten sie sich anfangs mehrheitlich für eine oberirdische Führung zur Erhöhung der Kundenfrequenz aus, konnten sie durch eine gezielte Informationsveranstaltung seitens der Linzer Verkehrsbetriebe umgestimmt werden. Diese Informationsveranstaltung enthielt jedoch keine kritische Behandlung des Themas, sondern zeigte ausschließlich die Vorteile einer unterirdischen Lösung auf.

8.1.4 Fazit

Der Entscheidungsprozess zur zweiten Linzer Straßenbahnachse durch die Innenstadt deckt sich bisher kaum mit dem „idealen Entscheidungsprozess“ von Steierwald, Kühne & Vogt (2005, S. 356ff). Die Formulierung der Zielfelder erfolgt eher nach dem von De Bruijn & Veeneman (2009, S. 356) beschriebenen *zielorientierten Ansatz*, wobei der präferierte Lösungsvorschlag zu Beginn steht und nicht die Formulierung der Ziele. Es wurden für beide Entscheidungsfelder Machbarkeitsstudien, bzw. bei der zweiten Straßenbahnachse zusätzlich eine NKU erstellt, jedoch ist nicht ersichtlich, dass davor ausreichend Lösungsalternativen formuliert wurden. Eine Machbarkeitsstudie ist der

Zulässigkeitsprüfung im idealen Entscheidungsprozess gleichzusetzen, worauf keineswegs eine Entscheidung getroffen werden kann.

Es sind weder die Systematik des vorliegenden Entscheidungsprozesses noch Berechnungsgrundlagen oder Ergebnisse der Machbarkeitsstudien bzw. der NKU öffentlich zugänglich, was – insbesondere im Fall eines Projektes der öffentlichen Hand – dem von Hoffmann (2013, S. 48) angeführten *Transparenzkriterium* widerspricht, da die Bevölkerung in diesem Fall einen Akteur im Entscheidungsprozess darstellt.

8.2 Weitere Innenstadtquerung Graz

In Graz, der steirischen Landeshauptstadt im Südosten Österreichs mit gut 265.000 Einwohnern und knapp 440.000 Einwohnern im Großraum, besteht momentan eine Straßenbahnquerung durch die Herrengasse in der Grazer Innenstadt, auf der alle 6 regulären Linien verkehren und die somit nahe der Grenze ihrer LF betrieben wird². Im Rahmen eines Masterplans für den öffentlichen Verkehr wird in der 2. Ausbaustufe des Straßenbahnnetzes eine zweite Achse durch die Innenstadt zur Entlastung der bestehenden für sinnvoll erachtet (Bauer, 2007). Weiters wird eine Erhöhung der LF auf bestehenden Strecken angestrebt, da eine Fahrgaststeigerung von 2 – 3% pro Jahr erwartet wird.

Jedoch kam – initiiert von politischen Entscheidungsträgern – als Lösungsalternative eine Seilbahn als Durchmesserlinie entlang der Mur zur Sprache (Kleine Zeitung, 2013). Diese soll die nördlichen Vororte der Stadt mit dem Flughafen südlich von Graz verbinden und dabei eine zweite Querung durch die Innenstadt darstellen. Die Idee für ein weiteres Seilbahnprojekt führt vom Hauptbahnhof via Nahverkehrsknoten Don Bosco nach Reininghaus. Abbildung 29 zeigt das zweite Ausbauprogramm des Grazer Straßenbahnnetzes, mit der zweiten Stadtquerung und der Verbindung nach Süden als grüne Linie dargestellt. Die Seilbahn-Durchmesserlinie würde entlang der Mur verlaufen.

8.2.1 Entscheidungsfelder

Es ergeben sich im Fall der Stadt Graz zwei separate Entscheidungsfelder zur Vergrößerung der LF des ÖPNV auf der Querung der Grazer Innenstadt:

- *Wahl des Verkehrssystems für eine weitere Achse parallel zur Herrengasse, zur Entlastung der dortigen Straßenbahnstrecke*
- *Wahl einer geeigneten Maßnahme zur Erhöhung der LF im bestehenden Straßenbahnnetz*

Tatsächlich aber wurden die Lösungsvarianten einer Seilbahn und einer zweiten Straßenbahnachse nicht in Kontext gebracht. Nach einer Analyse mehrerer Trassenvarianten für eine Straßenbahnachse durch beauftragte Verkehrsplaner wurde ein Informationsbericht mit der bevorzugten Trasse an den Gemeinderat als Entscheidungsträger übermittelt, nach der Kenntnisnahme wurde schließlich ein Finanzierungsbeschluss gefasst, der einen Rahmen von rund 100 Millionen Euro für die Errichtung

² Die über das Praxisbeispiel gewonnenen Erkenntnisse beruhen, neben extra angeführten Literaturquellen und Zeitungsartikel auf Gesprächen mit Dipl.-Ing. Andreas Solymos, Leiter der Abteilung Planungsmanagement und Infrastruktur der Holding Graz. Ausgenommen davon ist der letzte Unterpunkt, Fazit, in dem ein Vergleich des beobachteten Entscheidungsprozesses mit dem „idealen Entscheidungsprozess“ stattfindet.

einer zweiten Straßenbahnachse vorsieht. Die Seilbahn entlang der Mur stand damit zu keinem Zeitpunkt als Alternative zur Debatte, sondern wird als separates, eigenständiges Projekt betrachtet.

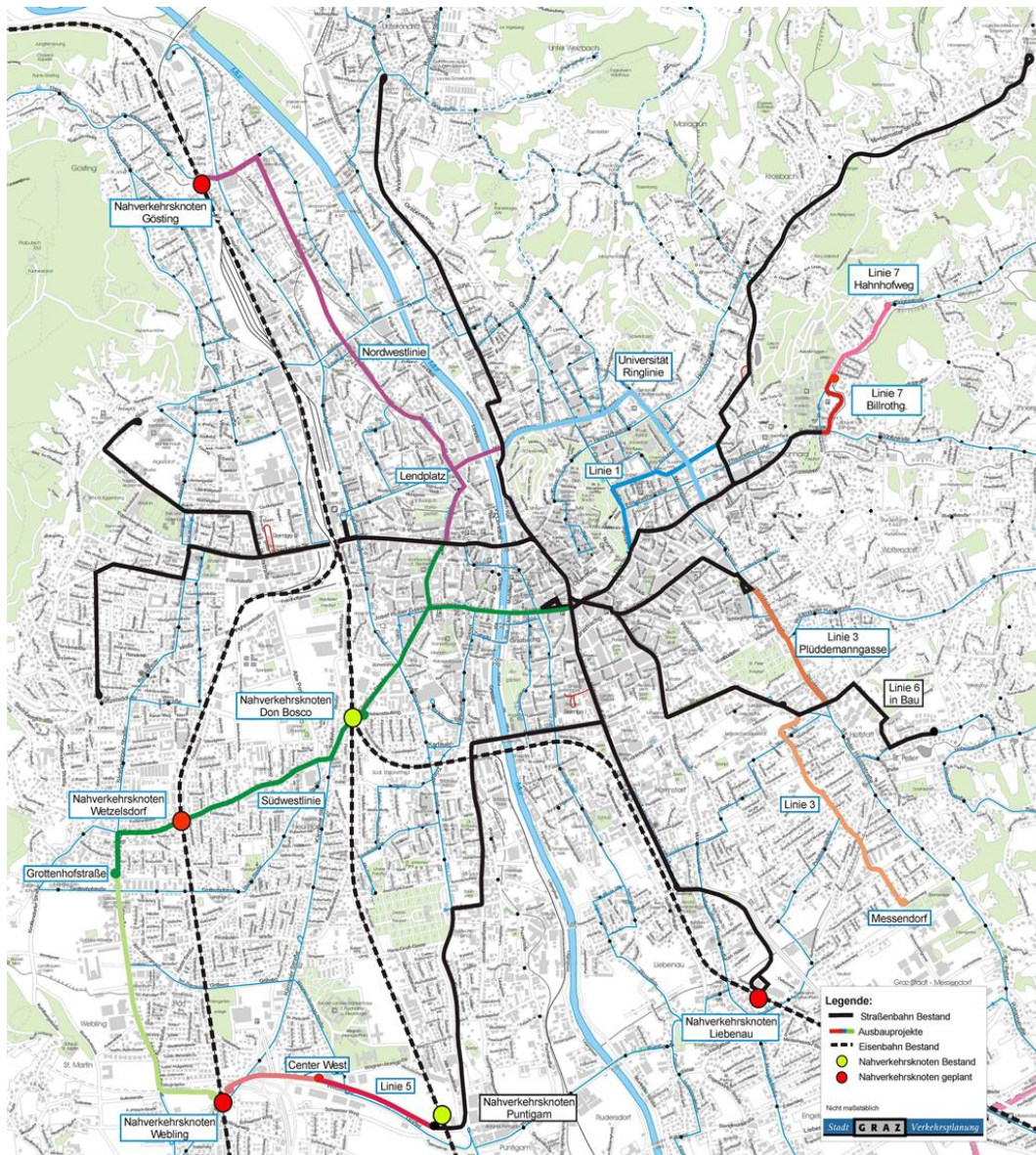


Abbildung 29: Straßenbahnausbauprogramm Graz mit 2. Innenstadtquerung. Quelle: (Bauer, 2007)

8.2.2 Angewendete Analyseverfahren

Im ersten Entscheidungsfeld, welches sich in der Realität jedoch in zwei separate Entscheidungsfelder, jenes der Trassenwahl für eine weitere Straßenbahnachse sowie jenes der Entscheidung für oder gegen eine Seilbahn entlang der Mur gliedert, wurden diverse Untersuchungen zur Entscheidungsfindung angestellt.

Für die zweite Straßenbahnachse wurden externe Verkehrsplaner damit beauftragt, mögliche Trassenvarianten zu finden und mittels Machbarkeitsstudien zu untersuchen. Dieser Variantenvergleich ergab letztlich nur eine politisch konsensfähige und technisch sinnvolle Variante entlang der Elisabethstraße. Besonders technische Randbedingungen wie der minimale Kurvenradius führten zum Ausschluss einiger Alternativen. Andere Alternativen hätten die Ablöse von Häusern eine vorausgesetzt, was weder politisch noch finanziell in Frage kam. Auf Basis des Endberichts dieses

Variantevergleichs wurde im Gemeinderat der Grundsatzbeschluss getroffen, den nächsten Schritt stellt bereits die eisenbahnrechtliche Einreichplanung dar.

Das Seilbahnprojekt entlang der Mur wurde mittels Machbarkeitsstudie auf seine Zulässigkeit geprüft, welche auch eine Kostenschätzung von knapp 92 Millionen Euro für das Gesamtprojekt mit sieben Stationen enthält. Die Bemessungsgrundlage bildet hierbei eine Dreiseilumlaufbahn, wobei die Möglichkeit einer wesentlich kostengünstigeren Einseilumlaufbahn nicht in Betracht gezogen wurde. Die Studie ist in ihrer Gesamtheit nicht öffentlich zugänglich. Auf Basis dieser Machbarkeitsstudie wird politisch für dieses Projekt geworben.

Das zweite Entscheidungsfeld – die Erhöhung der LF im bestehenden Straßenbahnnetz – stellt zwar keine Frage bezüglich der Systemwahl, ist jedoch in Kontext mit dem ersten Entscheidungsfeld zu setzen. Es wurden zwei mögliche Varianten erarbeitet: einerseits die sukzessive Umstellung auf längere Straßenbahngarnituren mit höherem Fassungsvermögen und andererseits die Erhöhung der Frequenz. In einem Kostenvergleich der beiden Varianten – der Nutzen für den Fahrgast wurde als gleich groß bewertet –, bei dem Fahrzeuganschaffung, Bau erforderlicher Infrastruktur und Betriebskosten berücksichtigt wurden, setzte sich die Variante der Beschaffung längerer Straßenbahngarnituren mit mehr Fassungsvermögen bei gleichbleibender Frequenz durch (Holding Graz, 2012). Auf Basis dieser Empfehlung seitens der Holding Graz als Betreiber wurde im Gemeinderat der nötige Grundsatzbeschluss zur sukzessiven Beschaffung längerer Fahrzeuge getroffen.

8.2.3 Fazit

Das Entscheidungsfeld zur Erhöhung der LF am Bestandsnetz orientiert sich am beschriebenen „idealen Entscheidungsprozess“ und basiert auf einer klaren Formulierung eines Zielfeldes, nämlich die Erhöhung der LF aufgrund steigender Fahrgastzahlen. In einem weiteren Schritt werden Lösungsvarianten erarbeitet und letztlich auf Basis der Kosten miteinander verglichen. Abgesehen von den Kosten werden etwa eine Fahrzeiteinsparung durch dichtere Intervalle oder eine mögliche, höhere Betriebssicherheit aufgrund geringerer Frequenzen nicht einberechnet. Die Entscheidung beruht somit ausschließlich auf den Kosten.

Im Falle des Entscheidungsfeldes zur Systemwahl für eine zweite Querung der Grazer Innenstadt ist der zielorientierte Ansatz gemäß De Bruijn & Veeneman (2009, S. 356) zu erkennen. Beide Lösungsalternativen werden unabhängig voneinander forciert, ohne zuvor ein klares Zielfeld definiert zu haben oder etwa weitere Lösungsalternativen in Betracht zu ziehen. Auf Basis eines Trassenvergleichs im Falle der Straßenbahnachse und einer Machbarkeitsstudie mit Kostenschätzung im Falle der Murseilbahn werden Entscheidungen von politischen Entscheidungsträgern gefordert. Die Machbarkeitsstudie zur Seilbahn untersucht außerdem lediglich eine Dreiseilumlaufbahn, begründet durch die – im Vergleich zur Einseilumlaufbahn – höhere Windbeständigkeit. Jedoch bewähren sich Einseilumlaufbahnen seit Jahrzehnten in Schigebieten im hochalpinen Raum, wo die Windverhältnisse in der Regel weit schwieriger sind als im innerstädtischen Raum.

In diesem Fall liegt somit kein *zielsuchender Ansatz* vor, Voraussetzung für einen „idealen Entscheidungsprozess“.

9 Zusammenfassung

Die Systemwahl im ÖPNV bildet ein komplexes, vielschichtiges Entscheidungsfeld. In der Regel ist eine Vielzahl an Akteuren involviert, weshalb im Entscheidungsprozess eventuelle Auswirkungen einer solchen Entscheidung evaluiert und abgeschätzt werden muss. Diese Auswirkungen können direkt auf den Fahrgast, den Betreiber, aber auch Dritte wirken. Letztlich ist es nur bei umfassender Berücksichtigung aller Konsequenzen möglich, eine seriöse Entscheidung zu treffen. Die Kenntnis jener Entscheidungskriterien ist daher unerlässlich.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, in einem vorher definierten Untersuchungsrahmen die verfügbaren Verkehrssysteme abzugrenzen, diese auf ihre technischen und betrieblichen Systemgrenzen zu untersuchen und weiterführend Entscheidungskriterien zu ermitteln, die im Entscheidungsprozess zur berücksichtigen sind. Weiters sollten Analysemethoden zum Vergleich von Lösungsalternativen untersucht und danach bewertet werden, wie weit sie den ermittelten Entscheidungskriterien in einem Entscheidungsprozess Rechnung tragen können. Abschließend sollten diese theoretisch ermittelten Erkenntnisse mit Fallbeispielen aus der Praxis gegenübergestellt werden, um einen Soll/Ist Vergleich treffen zu können.

9.1 Schlussfolgerungen

Es stellte sich heraus, dass für die Verwendung im hochrangigen ÖPNV-Netz nur gewisse Verkehrssysteme sinnvoll anwendbar sind. Insbesondere innovative Systeme wie Groß- und Kleinkabinensysteme bedürfen etwa einer Mindestnetzgröße, die bei Betrachtung einzelner Durchmesserlinien nicht gegeben ist, womit diese Systeme nicht zur erfolgreichen Anwendung geeignet scheinen. Neben bewährten Verkehrssystemen wie Bussystemen, Schienensystemen und deren Mischformen bieten Seilbahnsysteme eine immer häufiger zur Anwendung kommende Alternative. Die Abgrenzung der Systemgrenzen führte neben technischen Randbedingungen wie maximaler Längsneigung oder Mindestkurvenradius zu betrieblichen Systemgrenzen wie etwa LF, Reisegeschwindigkeit und sinnvoller Haltestellenabstand.

Die Untersuchung der Entscheidungskriterien brachte zu Tage, dass – neben den bekannten Kriterien wie Kosten, betrieblichen Aspekten oder Schadstoffemissionen – vor allem indirekte Effekte auf Dritte in Entscheidungsprozessen berücksichtigt werden sollten. So hat die Erschließung mittels ÖPNV, abhängig vom gewählten Verkehrssystem, unterschiedliche Auswirkungen auf die Grundstückspreise des Erschließungsgebiets. Weiters ist etwa die Fahrgastakzeptanz aufgrund subjektiver Wahrnehmung bei spurgeführten Verkehrssystemen höher als bei Bussystemen. Die Erschließung eines Stadtteils mittels ÖPNV erhöht im Allgemeinen dessen Siedlungsdichte, wobei Systeme mit hoher LF und hoher Reisegeschwindigkeit wie U-Bahnsysteme hierbei einen größeren Effekt haben als etwa herkömmliche Bussysteme.

Bei der Bewertung der Analysemethoden war festzustellen, dass besonders nicht monetär messbare Entscheidungskriterien in vielen Fällen nur schwer berücksichtigt werden können. Während die Multikriterienanalyse auch qualitative Kriterien ohne Probleme einbeziehen kann, müssen für die Lebenszykluskostenanalyse oder die Nutzen-Kosten Analyse jegliche Einflüsse mittels eines Geldwertes ausgedrückt werden. Da in vielen Fällen jedoch keine Marktpreise existieren, führt das zu unerwünschten subjektiven Bewertungen.

Insgesamt sind Analysemethoden, die nicht auf einer monetären Bewertung der Einflüsse beruhen besser für Entscheidungsprozesse der Systemwahl geeignet als jene, die lediglich Geldwerte miteinander vergleichen.

9.2 Ausblick

Der Vergleich des formulierten idealen Entscheidungsprozesses, unter Einberechnung der formulierten Entscheidungskriterien, mit Fällen aus der Praxis zeigt, dass eine Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis herrscht. Während der ideale Entscheidungsprozess eine Entscheidung auf Basis rationaler Vergleiche der Lösungsalternativen darstellt, werden diese in der Realität durch Einflüsse von außen gestört. Besonders politischer Wille, beruhend auf persönlichen Präferenzen scheint einer rationalen Entscheidungsfindung im Weg zu stehen. Dabei wird die Frage nach Möglichkeiten einer Annäherung realer Entscheidungsprozesse hin zum idealen Entscheidungsprozess aufgeworfen.

Der Untersuchungsrahmen wurde auf eine bestimmte Siedlungsgröße und eine bestimmte Linienform gelegt, die möglichst allgemein gültige Antworten auf die formulierten Forschungsfragen geben sollten. Dennoch würden die gleichen Fragestellungen auch in Bezug auf anders gelagerte Untersuchungsrahmen wertvolle Erkenntnisse bringen. So wäre eine Betrachtung der Systemwahl im flächenerschließenden Netz eine sinnvolle weiterführende Fragestellung.

Die vorliegende Arbeit gibt umfassende Entscheidungskriterien für die Systemwahl im ÖPNV an, jedoch bietet die Evaluierung weiterer Kriterien ein mögliches Forschungsfeld für die Zukunft. Ebenfalls könnte die Untersuchung neuartiger, noch nicht angewendeter (eingesetzter) Verkehrssysteme neue Erkenntnisse und Lösungsalternativen liefern.

Abschließend ist festzuhalten, dass die vorliegende Arbeit ihre Zielstellungen erfüllt und sich kritisch mit den gewonnenen Erkenntnissen auseinandergesetzt hat. Damit stellt diese Arbeit eine fundierte Grundlage im für weitere Forschungen im Bereich der Systemwahl im ÖPNV dar.

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systemleistungsfähigkeit der untersuchten Verkehrssysteme.	44
Tabelle 2: Reisegeschwindigkeit der untersuchten Verkehrssysteme.	45
Tabelle 3: Geometrische Randbedingungen der untersuchten Verkehrssysteme.	46
Tabelle 4: Zuverlässigkeit der untersuchten Verkehrssysteme	49
Tabelle 5: Ermittelte Flexibilität der untersuchten Verkehrssysteme.	50
Tabelle 6: Sicherheit und Fahrwegkategorie der untersuchten Verkehrssysteme	51
Tabelle 7: Investitionskosten und Betriebskosten der untersuchten Verkehrssysteme	53
Tabelle 8: CO ₂ Ausstöße der untersuchten Verkehrssysteme im Vergleich.	58
Tabelle 9: Dauerschallpegel der untersuchten Verkehrsmittel	60
Tabelle 10: Akzeptanz der untersuchten Verkehrssysteme.....	62
Tabelle 11: Vergleich der untersuchten Analyseverfahren.....	72

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verkehrsverbünde in Österreich.....	12
Abbildung 2: Raumwirksamkeit der Verkehrsmittel	13
Abbildung 3: Entwicklung der Wegezanzahl im United Kingdom.....	14
Abbildung 4: Mobilitätsrate nach Siedlungsgröße.....	14
Abbildung 5: Mobilitätsrate nach Bundesländern	15
Abbildung 6: Entwicklung Motorisierungsgrad.	16
Abbildung 7: Modal Split nach Bundesländern.	17
Abbildung 8: Netzwerk aus Stamm- und Zubringerlinien	21
Abbildung 9: ÖPNV-Struktur in Europa	22
Abbildung 10: Beispiele für ÖPNV-Strukturen	23
Abbildung 11: Linienformen schematisch.....	23
Abbildung 12: Netzformen	25
Abbildung 13: Arten der Klassifizierung von Verkehrssystemen	29
Abbildung 14: Diesel Niederflerbus der Linz AG	31
Abbildung 15: Eingelenks O-Bus der Linz AG	32
Abbildung 16: Mehrgelenksstraßenbahn der Grazer Verkehrsbetriebe im Mischbetrieb	33
Abbildung 17: Neubau-Tunnelstrecke im Linzer Straßenbahnnetz	35
Abbildung 18: BRT-System auf eigenem Fahrstreifen in Bogotá, Kolumbien	36
Abbildung 19: Translohr-System in Clermont-Ferrand, Frankreich	38
Abbildung 20: U-Bahnzug in Nürnberg, Deutschland während des Fahrgastwechsels	39
Abbildung 21: S-Bahn der ÖBB in Salzburg	40
Abbildung 22: Einseilumlaufbahn im ÖPNV in Medellín, Kolumbien.....	41
Abbildung 23: Haltestellenabstände der untersuchten Verkehrssysteme.	47
Abbildung 24: Rasengleis in Linz	56
Abbildung 25: CO ₂ Emissionen verschiedener untersuchter Verkehrsmittel	57
Abbildung 26: Primärenergieverbrauch der untersuchten Verkehrssysteme	61

Abbildung 27: Systematik des Entscheidungsprozesses	65
Abbildung 28: 2. Straßenbahnachse durch Linz.	74
Abbildung 29: Straßenbahnausbauprogramm Graz mit 2. Innenstadtquerung.	77

12 Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytischer Hierarchie Prozess
APM	Automated People Mover (Automatisches Personentransportsystem)
BRT	Bus Rapid Transit (Schnellbussystem)
CO	Kohlenmonoxid
IV	Individualverkehr
KWA	Kosten Wirksamkeitsanalyse
KWQ	Kosten Wirksamkeitsquotient
LCC	Life Cycle Costs Analysis (Lebenszykluskostenanalyse)
LF	Leistungsfähigkeit
LRT	Light Rail Transit (Schnellstraßenbahn)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NKA	Nutzen-Kosten Analyse
NKD	Nutzen-Kosten Differenz
NKU	Nutzen-Kosten Untersuchung
NKV	Nutzen-Kosten Verhältnis
NMIV	Nichtmotorisierter Individualverkehr
NO _x	Stickoxide
NWA	Nutzwertanalyse
O-Bus	Oberleitungs-Bus
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PKT	Personenkilometer
PM10	Feinstaubpartikel
SO ₂	Schwefeldioxid
TU	Transport Unit / Transporteinheit (Fahrzeug)
U-Strab	Unterpflaster-Straßenbahn
U-Bahn	Utergrundbahn
WA	Wirkungsanalyse

13 Literaturverweise

- Alshalalfah, B., & Shalaby, A. (2010). *Aerial Ropeway Transit: State of the ART*. Toronto: Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- Anderhub, G., Dorbritz, R., & Weidmann, U. (2008). *Leistungsfähigkeitsbestimmung öffentlicher Verkehrssysteme*. Zürich: ETH Zürich.
- BmVIT. (2012). *Gesamtverkehrsplan für Österreich*. 2012: BmVIT.
- BmVit. (2013). *Verkehrsverbünde in Österreich*. Abgerufen am 25. 06 2013 von <http://www.bmvit.gv.at/verkehr/nahverkehr/verbuede/oesterreich.html>
- Brezina, T. (2004). *An Integration of human transport planning criteria in the design of a light rail system with an application to Ljubljana*. Wien: TU Wien.
- Buchanan, P. (2013). *Transport in Cities - Traffic in Towns: a retrospective*. London: Sinclair Knight Merz Pty.
- Chester, M., & Horvath, A. (2009). Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains. *Environmental Research Letters* 4, S. 1-9.
- Cornil, M., Pécheur, P., Bourgeois, G., Dolphin, B., & Dupriet, P. (Februar 1998). Evolution des Réseaux de Transport urbain Guidés. *Revue Générale des Chemins de Fer, Vol.2, S. 7-11, 61*.
- Costa, A., & Fernandes, R. (2012). Urban public transport in Europe: Technology diffusion and market. *Transportation Research Part A* 46, S. 269-284.
- Dávila, J., & Daste, D. (2011). *Medellín's aerial cable-cars: social inclusion and reduced emissions*. London: University College London.
- De Bruijn, H., & Veeneman, W. (May 2009). Decision-making for light rail. *Elsevier, Volume 43, S. 349-359*.
- Deutsch, V. (2003). *Einsatzbereiche neuartiger Transportsysteme zwischen Bus und Bahn*. Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal.
- Edwards, M., & Macket, R. (1996). Developing new urban public transport systems: An irrational decision-making process. *Transport Policy Vol. 3, No. 4, S. 225-239*.
- Emberger, G., Pfaffenbichler, P., Jaensirisak, S., & Timms, P. (2007). *"Ideal" decision making processes for transport planning: A comparison between Europe and South e*. Berkeley: World Conference on Transport Research.
- Fiala, E. (2006). *Mensch und Fahrzeug*. Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn Verlag.
- Guss, C., Heimgartner, D., & Kral, U. (2007). *Faktor Einzelhandel und Zersiedelung*. Wien: Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Tu Wien.

- Herry Consult GmbH. (2012). *Verkehr in Zahlen, Österreich, Ausgabe 2011*. Wien: BmVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie).
- Hoffmann, M. (2013). *Lebenszykluskosten der Straßeninfrastruktur - Ansätze zur Optimierung von Investitionsstrategien und technischen Maßnahmen, Bau- und Betriebsweisen für Straßenanlagen in ihrem Lebenszyklus*. Wien: TU Wien.
- Holz-Rau, C., & Scheiner, J. (April 2005). Siedlungsstrukturen und Verkehr: Was ist Ursache, was Wirkung? *RaumPlanung*, S. 67-72.
- Huang, C.-F., & Xia, Y. (2011). Research on the role of urban rail transit in promoting economic development. *Procedia Engineering 21*, S. 520-525.
- Ibeas, A., Cordera, R., Dell'Olio, L., Coppola, P., & Dominguez, A. (2012). Modelling transport and real-estate values interactions in urban systems. *Transport Geography 24*, S. 370-382.
- Ising, H., & Maschke, C. (kein Datum). *Beeinträchtigung der Gesundheit durch Verkehrslärm*. Berlin: Umweltbundesamt.
- ITA. (2004). Underground or Aboveground? Making the choice for urban mass transit systems. *Tunnelling and Underground Space Technology*, S. 3-28.
- Janic, M. (2000). An assessment of risk and safety in civil aviation. *Journal of Air Transport Management*, S. 43 - 50.
- Kliucininkas, L., Matulevicius, J., & Martuzeviciu, D. (2012). The life cycle assessment of alternative fuel chains for urban buses and trolleybuses. *Journal of Environmental Management 99*, S. 98-103.
- Knoflacher, H. (1987). *Verkehrsplanung für den Menschen*. Wien: Orac Verlag.
- Knoflacher, H. (1996). *Zur Harmonie von Stadt und Verkehr*. Wien: Böhlau Verlag Wien.
- Koch, G., & Grein, O. (March 2013). Markets and system developments in rail-guided passenger transport. *Rail Technology Review*, S. 8-12.
- Künne, H. D. (1991). Stadt und Verkehr - Problem ohne Ende? 29. *Deutscher Verkehrsgerichtstag 1991*. Goslar: Deutsche Akademie für Verkehrsissenschaft.
- Lee, S. S., & Senior, M. L. (2013). Do light rail services discourage car ownership and use? Evidence from Census data for four English cities. *Journal of Transport Geography 29*, S. 11-23.
- Liu, L. (2005). Towards Sustainable Urban Transport in China: The Role of Bus Rapid Transit Systems. In G. Jönson, & E. Tengström, *Urban Transport Development* (S. 86-102). Lund: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lönnroth, M. (2005). How do Political Actors Deal with the Complexity of Urban Transport Development. In G. Jönson, & E. Tengström, *Urban Transport Development* (S. 260-267). Lund: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Luke, S., & MacDonald, M. (2003). *Public Transport Mode Selection: A Review of International Practice*. ETC Conference Protokoll.
- Mackett, R., & Edwards, M. (1998). The impact of new urban public transport systems: Will the expectation be met? *Transportation Research* 32/4, S. 231-245.
- Mejía-Dugand, S., Hjelm, O., & Baas, L. (2013). Lessons from the spread of Bus Rapid Transit in Latin America. *Journal of Cleaner Production* 50, S. 82-90.
- O'Connor, R., & Dale, S. (2012). *Urban Gondolas, Aerial Ropeways and Public Transportation: Past Mistakes & Future Strategies*. Toronto: Creative Urban Projects.
- Örn, H. (2005). Urban Public Transport in an International Perspective. In G. Jönson, & E. Tengström, *Urban Transport Development* (S. 55-64). Lund: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ostermann, N. (2006). Verkehrswirksamkeit der U-Bahn in Städten. In Ö. V. Gesellschaft, *Wirtschaft im Wettbewerb - Standortqualität und Verkehrsinfrastruktur* (S. 189-200). Wien: ÖVG.
- Pagliara, F., & Papa, E. (2011). Urban rail systems investments: an analysis of the impacts on property values and residents' location. *Journal of Transport Geography*, S. 200-211.
- Parry, I., & Small, K. (2009). Should Urban Transit Subsidies Be Reduced? *American Economic Review*, 99/3, S. 700-724.
- Peistrup, M. (2006). Der finanz-, umwelt- und verkehrspolitische Rahmen: Womit kann oder muss der ÖPNV rechnen? In I. f. Mobilitätsforschung, *Öffentlicher Personennahverkehr* (S. 21-38). Berlin: Springer Berlin Heidelberg New York.
- Pucher, J., & Kurth, S. (1996). Verkehrsverbund: the success of regional public transport in Germany, Austria and Switzerland. *Transport Policy Volume* 2/4, S. 279-291.
- Reichow, H. B. (1959). *Die autogerechte Stadt*. Ravensburg: Otto Maier Verlag.
- Reinhardt, W. (2012). *Öffentlicher Personennahverkehr: Technik - rechtliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Rollinger, W., Emberger, G., & Brezina, T. (2009). *Handbuch Öffentlicher Verkehr, Schwerpunkt Österreich*. Wien: ÖVG.
- Rudolph, M., & Wagner, U. (2008). *Energieanwendungstechnik*. München: Springer Verlag Berlin-Heidelberg .
- Santos, G., Maoh, H., Potoglou, D., & von Brunn, T. (2013). Factors influencing modal split of commuting journeys in medium-size European cities. *Journal of Transport Geography* 30, S. 127-137.
- Schirmer, M. (2001). *Verkehrsverhalten im Familienzusammenhang*. Zürich: ETH Zürich.
- Socialdata. (2013). *Socialdata Homepage*. Abgerufen am 26. Juni 2013 von <http://www.socialdata.de/daten/kennziffern.php#bis20>

- Stadt Wien. (24. Juni 2013). *Wien.at*. Von <https://www.wien.gv.at/verkehr-stadtentwicklung/liberalisierung-oeffis.html> abgerufen
- Statistik Austria. (4. April 2013). *Klassifikation: Stadtregionen*. Von https://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/stadtregionen/index.html abgerufen
- Steierwald, G., Kühne, H. D., & Vogt, W. (2005). *Stadtverkehrsplanung*. Stuttgart: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Steininger, G. (2008). *Ziele und Vorgaben der österreichischen Verkehrspolitik in den Koalitionsabkommen der Bundesregierung - ein Zeitvergleich 1945-2007*. Wien: Institut für Transportwirtschaft und Logistik, Wirtschaftsuniversität Wien.
- Stoop, J., & Thissen, W. (1997). Transport Safety: Trends and Challenges from a Systems Perspective. *Safety Sciences*, S. 107 - 120.
- Stroh, K. (2003). *Lärm - Straße und Schiene*. Augsburg: Bayrisches Landesamt für Umwelt.
- Topalovic, P., Carter, J., Topalovic, M., & Krantzberg, G. (2012). *Light Rail Transit in Hamilton: Health, Environmental and Economic Impact Analysis*. Springer Science+Business.
- Transport for London. (2000). *Cross River Transit*. London: Transport for London.
- Tudela, A., Akiki, N., & Cisternas, R. (2005). Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis An application to urban transport investments. *Transportation Research Part A*, S. 414-423.
- Uherek, E., Halenka, T., Borken-Kleefeld, J., Balkanski, Y., Berntsen, T., Borrego, C., . . . Schmid, S. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. *Atmospheric Environment* 44, S. 4772-4816.
- Umweltbundesamt. (2006). *Schwebestaub in Österreich*. Wien: Umweltbundesamt.
- Vardoulakis, S., & Kassomenos, P. (2006). Sources and factors affecting PM10 levels in two European cities: Implications for local air quality management. *Atmospheric Environment* 42, S. 3949-3963.
- VDL Bus and Coach. (15. August 2013). *Ein virtuelles Leitsystem*. Von <http://www.apt-phileas.com/> abgerufen
- Vuchic, V. (2007). *Urban Transport, Systems and Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Wagner, S. (2012). *Einsatzmöglichkeiten von Seilbahnen als ÖPNV-Systeme im urbanen Raum*. Wien: TU Wien.
- Wang, W. J., Shen, P., Song, J. H., Guo, J., Liu, Q. Y., & Jin, X. S. (2011). Experimental study on adhesion behavior of wheel/rail under dry and water. *Wear* 271, S. 2699-2705.
- Wöhrenschiemmel, H., Zuk, M., Martinez-Villa, G., Ceron, J., Cardenas, B., Rojas-Bracho, L., & Fernandez-Bremauntz, A. (2008). The impact of a Bus Rapid Transit system on commuters'

exposure to Benzene, CO, PM2.5 and PM10 in Mexico City. *Atmospheric Environment* 42, S. 8194-8203.

Zhibin, L., Wei, W., Xuedong, H., Chen, Y., & Yaotian, Z. (2010). *Quantitative Analysis of Impact of External Cost on Urban Passenger Transport Structure*. Nanjing: Transportation School Southeast University.

14 Verweise – reale Entscheidungsprozesse

Bauer, M. (2007). *Informationsbericht an den Ausschuss für Stadt-, Verkehrs- und Grünraumplanung*. Graz: Stadt Graz.

Beurle, L. (2011). *Überlegungen zur 2. Straßenbahnachse in Linz*. Linz: Initiative nachhaltige Mobilität.

der Standard. (2013, September 03). *"Zerstörungsbewilligung": Linzer Eisenbahnbrücke wird abgerissen*. Retrieved from derstandard.at:
<http://derstandard.at/1376535476442/Bewilligung-der-Zerstoerung-Linzer-Eisenbahnbruecke-wird-abgerissen>

Held, R. (2013). *Verkehrs-Landesrat Reinhold Entholzer erfreut über Ergebnis: "Sinnhaftigkeit des RegioTram-Projektes 'Mühlkreisbahn NEU' durch den Landesrechnungshof (LRH) bestätigt"*. Linz: Landes Medien Info.

Holding Graz. (2012). *Grundsatzbeschluss längere Straßenbahnen vorbereiten bzw. Kapazitätsausweitung*. Graz: Holding Graz.

Hubmann, R. (2012). *Nachhaltig wirksame Lösungen für Linz*. Linz: Stadt Linz.

Kleine Zeitung. (2013). *Neuer Schwung für Gondeln*. Retrieved Juli 03, 2013, from <http://www.kleinezeitung.at/steiermark/graz/graz/3325059/neuer-schwung-fuer-gondeln.story>