



Bahn 2050: Schienenverkehrskonzept mit Erschliessung durch selbstfahrende Autos

Autor **Felix Lutz**
Betreuer **Prof. Dr. Ulrich Weidmann**

Diplomarbeit
DAS Verkehrsingenieurwesen 2015-2017

September 2017

IVT *Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme*
Institute for Transport Planning and Systems

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Vorwort und Dank

Der Begriff „selbstfahrendes Auto“ ist vielfältiger als ich auf den ersten Blick erwartet habe. Aktuell sind diese Fahrzeuge in der Mobilitätsbranche und den Medien ein Dauerthema. Zahlreiche Automobilhersteller erhöhen die Investitionen in diesem Bereich und gehen Kooperationen mit ICT-Unternehmen ein. Mobilitätsdienstleister des öffentlichen Verkehrs nähern sich mit eigenen Innovationsabteilungen diesem Thema an. Vereinzelt werden autonome Fahrzeuge in Testgebieten eingesetzt. Es wird erwartet, dass diese Basisinnovation der Anfang einer Revolution sein könnte, welche das Mobilitätsverständnis komplett neu definiert.

So vielfältig die Berichte und Initiativen zu den autonomen Autos auch sind, so wenig erforscht sind die Verkehrskonzepte für die neuen Mobilitätsformen. In zahlreichen Diskussionen mit Kollegen zur zukünftigen Stellung der Eisenbahn fehlte mir für die sachliche Auseinandersetzung eine strategische Schienenverkehrsperspektive, welche selbstfahrende Fahrzeuge mitberücksichtigt. Ich entschied im Rahmen meiner Diplomarbeit einen Vorschlag für ein Schienenverkehrskonzept mit Erschliessung durch selbstfahrende Autos zu erarbeiten.

Die Resultate der Arbeit haben meine Vermutungen in mehrfacher Hinsicht bestätigt. Durch den Einsatz von selbstfahrenden Fahrzeugen in ländlichen Gebieten kann das Bahnangebot auf den Hauptachsen ohne zusätzliche Grossinvestitionen weiter verbessert werden. Die Beschäftigung mit dem Thema hat mir persönlich auch vor Augen geführt, dass für den Erfolg der autonomen und vernetzten Mobilitätsformen nebst der Lösung der technischen und regulatorischen Problemstellungen auch der geschickte Umgang mit den politischen Aspekten entscheidend sein wird. Die von mir im Rahmen meiner Handlungsempfehlung dargestellte Stossrichtung zur Bahn 2050 beinhaltet einen Rückzug der Eisenbahn aus vielen ländlichen Gebieten. Dieser Sachverhalt findet im aktuellen Umfeld kaum eine politische Mehrheit. Dennoch hoffe ich, mit der vorliegenden Arbeit einen Beitrag zur weiteren Diskussion über die künftigen Entwicklungen des Schienenverkehrs leisten zu können.

Abschliessend möchte ich mich bei den Institutionen und Personen bedanken, die mich bei der Weiterbildung und der Diplomarbeit unterstützt haben. Mein Dank geht an das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich, welches mir die Weiterbildung im Verkehrsingenieurwesen ermöglicht hat. In Bezug auf die vorliegende Diplomarbeit möchte ich mich insbesondere bei Prof. Dr. Ulrich Weidmann bedanken. Er hat mich bei der Bearbeitung dieses spannenden Themas massgebend unterstützt. Während der letzten Monate hat er sich immer wieder die Zeit für Zwischenbesprechungen genommen. Mit seinen Rückmeldungen, Ideen und Tipps hat er einen grossen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet.

Gleichzeitig geht mein Dank an weitere Personen, die mich während dieser intensiven Zeit im privaten Umfeld unterstützt haben: allen voran an meine Partnerin Stephanie Mathis sowie an meine Familie und an meine Kollegen.

Im beruflichen Umfeld sind es meine Vorgesetzten Thomas Senekowitsch, André Kyd und Olivier Knuchel, welchen ich einen Dank aussprechen möchte. Sie haben mir in den letzten zwei Jahren grösstmögliche Flexibilität bei der Abstimmung von Weiterbildung und Arbeit ermöglicht. Ohne die Erfahrungen in der Fahrplanplanung, die ich parallel zum Studium bei der SBB sammeln durfte, wäre diese Arbeit nicht so weit gediehen.

Nun wünsche ich der interessierten Leserschaft eine aufschlussreiche Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Aktuelle Problemstellungen im öffentlichen Verkehr	9
1.2	Forschungsdefizit	10
1.3	Forschungsfrage	11
1.4	Aufbau der Arbeit	11
2	Grundlagen	13
2.1	Mobilitätsentwicklung	13
2.2	Aktuelle Mobilitätskennzahlen	15
2.3	Trendanalyse	17
2.4	Vision zur Mobilität 2050	25
2.5	Literatur zur Ausgestaltung von Verkehrssystemen	25
2.6	Zielsystem Bahn 2050	31
3	Modellerstellung	33
3.1	Denkmodell für Mobilitätshubs	33
3.2	Funktionaler Anforderungskatalog an Mobilitätshub	37
3.3	Layout von Mobilitätshub	39
3.4	Mathematisches Modell für Dimensionierung von Mobilitätshub	43
4	Fallstudie	45
4.1	Annahmen zur Verkehrsnachfrage 2050	45
4.2	Annahmen zum Individualverkehr 2050	46
4.3	Annahmen zum öffentlichen Schienenverkehr 2050	47
4.4	Festlegung der erforderlichen Mobilitätshubs	49
4.5	Schienenverkehrskonzept 2050	58
5	Konklusion	64
5.1	Beurteilung Schienenverkehrskonzept 2050	64
5.2	Auswirkungen auf Infrastruktur und Finanzen	66
5.3	Abgleich mit Zielsystem	68
5.4	Würdigung	69
5.5	Handlungsempfehlung Bahn 2050	70
6	Literaturverzeichnis	72
7	Glossar	76
	Anhang	A-1
	Eigenständigkeitserklärung	A-9

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Topologie von zentrifugalen und zentripetalen Netzwerkstrukturen	26
Tabelle 2	Strukturelle Attribute für Kanten im Raum Zürich–Ostschweiz	27
Tabelle 3	Strukturelle Attribute für Knoten im Raum Zürich–Ostschweiz	28
Tabelle 4	Zielsystem Bahn 2050 (1. Teil)	31
Tabelle 5	Zielsystem Bahn 2050 (2. Teil)	32
Tabelle 6	Zubringerleistung auf der Strasse	38
Tabelle 7	Durchschnittliche Belegungszeit der Haltebuch in Mobilitätshubs	39
Tabelle 8	Herleitung des durchschnittlichen Werktagverkehrs 2050	50
Tabelle 9	Einzugsgebiet der Mobilitätshubs (Verkehrsstrom Zürich)	51
Tabelle 10	Zubringerleistung: Herleitung des Soll-Anteils an Kollektivreisenden	52
Tabelle 11	Zubringerleistung: Herleitung des Soll-Anteils an Langsamverkehr	53
Tabelle 12	Zubringerleistung: Individualreisende mit autonomen Fahrzeugen	54
Tabelle 13	Zubringerleistung: Verteilung der Reisenden auf Verkehrsmodi	55
Tabelle 14	Mobilitätshub: Kennzahlen für HVZ-Stunde	56
Tabelle 15	Mobilitätshub: Kennzahlen für NVZ-Stunde	57
Tabelle 16	Strukturelle Attribute für Kanten 2017 vs. 2050	61
Tabelle 17	Auswertung der Netzerkffizienz 2017 vs. 2050 (1. Teil)	64
Tabelle 18	Auswertung der Netzerkffizienz 2017 vs. 2050 (2. Teil)	65
Tabelle 19	Potential für Kosteneinsparungen bei Instandhaltungskosten	66
Tabelle 20	Topologie der wegfallenden Eisenbahnstrecken	67
Tabelle 21	Abgleich mit Zielsystem Bahn 2050	68
Tabelle 21	Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (1/6)	A-1
Tabelle 22	Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (2/6)	A-2
Tabelle 23	Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (3/6)	A-3
Tabelle 24	Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (4/6)	A-4
Tabelle 25	Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (5/6)	A-5
Tabelle 26	Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (6/6)	A-6

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Visualisierung von Mobilitätshub, SBB, 2017.....	II
Abbildung 2	Aufbau der Arbeit.....	12
Abbildung 3	Entwicklung Modalsplit in der Schweiz und Europa	14
Abbildung 4	Anteil multimodaler Personen nach Altersgruppen	19
Abbildung 5	Erwartete Marktdurchdringung von autonomen Fahrzeugen	20
Abbildung 6	Modale Attribute für Verkehrssysteme im Raum Zürich–Ostschweiz	29
Abbildung 7	Verkehrssystemkategorien	30
Abbildung 8	Ausprägungen der Verkehrssysteme.....	33
Abbildung 9	Kategorien kombinierter Mobilität mit individueller Beförderung.....	35
Abbildung 10	Kategorien kombinierter Mobilität mit kollektiver Beförderung.....	36
Abbildung 11	Gestaltungsvarianten für Mobilitätshub.....	40
Abbildung 12	Mobilitätshub 3600: Ebene -1 „Schienenverkehr“	41
Abbildung 13	Mobilitätshub 3600: Ebene 0, „Langsamverkehr“	42
Abbildung 14	Mobilitätshub 3600: Ebene 1, „motorisierter Individualverkehr“	42
Abbildung 15	Mobilitätshub 3600: Ebene 2, Option „Luftverkehr“	43
Abbildung 16	Geographische Verteilung der Betriebspunkte.....	58
Abbildung 17	Schienen- und Autobahnnetz 2050.....	59
Abbildung 18	Netzgrafik zum Betriebskonzept „Bahn 2050“	62
Abbildung 19	Gleisbelegungsplan für Mobilitätshub Effretikon	63
Abbildung 20	Grafischer Fahrplan für Strecke Sargans–Zürich.....	63
Abbildung 21	Handlungsempfehlung Bahn 2050.....	71
Abbildung 22	Mobilitätshub 1800: Ebene -1 „Schienenverkehr“	A-7
Abbildung 23	Mobilitätshub 1800: Ebene 0, „Langsamverkehr“	A-7
Abbildung 24	Mobilitätshub 1800: Ebene 1, „motorisierter Individualverkehr“	A-8
Abbildung 25	Mobilitätshub 1800: Ebene 2, Option „Luftverkehr“	A-8

Abkürzungserklärungen

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BAV	Bundesamt für Verkehr
BE	Kanton Bern
BFS	Bundesamt für Statistik
BG	Belegungsgrad
BP	Betriebspunkte
bspw.	beispielsweise
CO ₂	Kohlendioxid
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr
DWV	Durchschnittlicher Werktagsverkehr
EBL	Summe aus Einwohnern, Beschäftigten und Äquivalenten aus Logiernächten
engl.	Englisch
et al.	et aliae (= und andere)
f	Faktor
Fz	Fahrzeug
FV	Fernverkehr
GDI	Gottlieb Duttweiler Institut
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
h	Stunde
HVZ	Hauptverkehrszeit
ICT	information and communications technology
IT	Informationstechnologie
IVT	Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
km	Kilometer
KTU	Konzessionierte Transportunternehmen

LV	Langsamverkehr
min	Minuten
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NVZ	Nebenverkehrszeit
ÖV	öffentlicher Verkehr
Pers	Personen
PKW	Personenkraftwagen
resp.	respektive
RV	Regionalverkehr
SAE	Society of Automotive Engineers
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SG	Kanton St. Gallen
SZL	stündliche Zubringerleistung
u.a.	unter anderem
UNO	United Nations Organization
USA	United States of America
UVEK	Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
vgl.	vergleiche
WEF	World Economic Forum
ZH	Kanton Zürich

Diplomarbeit Diploma of Advanced Studies DAS Verkehrsingenieurwesen 2015-2017

Bahn 2050: Schienenverkehrskonzept mit Erschliessung durch selbstfahrende Autos

Felix Lutz
Wylersstrasse 121
CH-3014 Bern

Telefon: +41 - 79 779 48 10
felix-lutz@bluewin.ch

September 2017

Kurzfassung

In Diskussionen zur Weiterentwicklung des Bahnnetzes fehlt zurzeit eine strategische Perspektive, welche die Möglichkeiten selbstfahrender Strassenfahrzeuge mitberücksichtigt. Diese Arbeit enthält ein Modell, womit die Kapazitätsgrenze von Umsteigeknoten, sogenannten Mobilitätshubs, ermittelt werden kann. Anhand des Modells kann für ein Untersuchungsgebiet die Anzahl an erforderlichen Hubs festgelegt werden. Darauf aufbauend erfolgt die Entwicklung des Angebotskonzepts, welches die Verkehrsabwicklung zwischen den zuvor definierten Mobilitätshubs auf der Schiene sicherstellt.

Das Schienenverkehrskonzept beinhaltet im Raum Zürich–Ostschweiz 52 Mobilitätshubs. Sie ersetzen die heutigen 267 Bahnhöfe. Das Grundangebot sieht einen 10-Minuten-Takt vor. Auf einzelnen Korridoren verdichtet sich die Taktfolge bis auf zwei Minuten. Im Güterverkehr ist ein 10- resp. 20-Minuten-Takt geplant. Das Bahnsystem ist hochgradig standardisiert und automatisiert. Nicht mehr benötigte Infrastruktur ist konsequent zurückgebaut. Dadurch lässt sich ein Sparpotential bei den jährlichen Instandhaltungskosten von rund einer halben Milliarde Schweizer Franken für das Normalspurnetz der SBB realisieren.

Die Arbeit enthält ein für den Raum Zürich–Ostschweiz erarbeitetes Schienenverkehrskonzept sowie eine in Leitsätzen formulierte Handlungsempfehlung zur Bahn 2050.

Schlagworte

Mobilitätshub; Schienenverkehrskonzept; selbstfahrende Autos; Diplomarbeit; ETH Zürich; Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)

Zitierungsvertrag

Lutz, F. (2017) Bahn 2050: Schienenverkehrskonzept mit Erschliessung durch selbstfahrende Autos, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

1 Einleitung

1.1 Aktuelle Problemstellungen im öffentlichen Verkehr

Aufgrund der Digitalisierung befinden sich die Lebensstile und das Mobilitätsverhalten in einer Transformationsphase. Mobilitätsdienstleister werden mit der Herausforderung konfrontiert, bestehende Angebote mit neuen Mobilitätsmitteln und -anbietern zu vernetzen. Die Mobilitätsangebote werden für den Kunden durch den Einsatz neuer Technologien transparenter, individueller und vernetzter. Unimodal geprägte Reiseketten werden von multimodalen Reiseketten abgelöst. Die spezifischen Eigenschaften des öffentlichen Verkehrs (ÖV) und motorisierten Individualverkehrs (MIV) konvergieren. Zeitgleich beseitigt die Digitalisierung vorhandene Nutzungsrestriktionen einzelner Verkehrsmodi. Dadurch wird der Zugang zur individualisierten Mobilität für jedermann jederzeit sichergestellt. Mobilitätsdienstleister müssen ihr **Geschäftsmodell überprüfen** und anpassen, damit sie im neuen Umfeld bestehen können.

Die mobile Bevölkerung ist je nach Wohn- und Arbeitsort mit anderen Verkehrsproblemen konfrontiert. In Agglomerationen sind Autofahrer von Staus, Parkplatzmangel oder hohen Parkgebühren betroffen. Pendler im ÖV kämpfen während den Stosszeiten um einen Sitz- oder Stehplatz. Die Problemlösung sieht vielfach den Ausbau bestehender Verkehrssysteme und somit die Bereitstellung von mehr Kapazität auf Strasse und Schiene vor. Dieses Vorgehen verstärkt die Zerschneidung von Lebensräumen und die Emissionsbelastung (Oggier, Righetti und Bonnard, 2001). Mit dem prognostizierten Verkehrswachstum bis 2040 (Justen und Mathys, 2016) werden in der Schweiz die raumbezogenen Konflikte mit der Gesellschaft und Natur zunehmen. Bei künftigen Verkehrskonzepten müssen neue Technologien integriert werden, die eine **Abkehr von der Ausbaustrategie „mehr vom Gleichen“** ermöglichen. Die Mobilitätsdienstleister müssen **Kompetenzen** bezüglich der neuen Technologien aufbauen, damit sie weiterhin als verlässliche und kompetente Partner wahrgenommen werden.

Mobility Pricing kann künftig vermehrt zur Verkehrsbeeinflussung und -lenkung eingesetzt werden. Die Preisdifferenzierung erhöht die Vielfalt der Mobilitätsangebote und damit auch die Komplexität im Entscheidungsprozess. Die Entwicklung von individualisierten digitalen Buchungs- und Reiseassistenten helfen den Nutzern in diesem multioptionalen Umfeld, die für sie beste und günstigste Variante zu wählen. Der Kostenaspekt gewinnt im Entscheidungsprozess der Kunden an Bedeutung. Die Wettbewerbsfähigkeit des Mobilitätsdienstleisters hängt zunehmend von seiner Kostenstruktur ab. Bahnunternehmen verfügen über hohe Fixkosten, die vielfach mit Mitteln der öffentlichen Hand gedeckt werden. In den kommenden

Jahren werden die Subventionen jedoch aus politischen oder wirtschaftlichen Überlegungen zurückgehen. Die Bahn muss Investitionen und Betriebskosten vermehrt selber finanzieren oder an die Endkunden überwälzen. Vor allem in ländlichen Gebieten verliert die Eisenbahn dadurch an Konkurrenzfähigkeit. Die individuellen Mobilitätsbedürfnisse in periurbanen und ländlichen Räumen können bereits heute mit dem hochkapazitiven und getakteten ÖV nicht effizient befriedigt werden. Diese Problematik wird sich mit der aktuellen Ausbaustrategie noch weiter verschärfen. Die ÖV-Branche muss **neue wettbewerbsfähige Mobilitätslösungen für die Sicherstellung der Grundversorgung in ländlichen Gebieten erarbeiten**. Selbstfahrende Fahrzeuge können wirtschaftliche Alternativen eröffnen.

Die föderalistischen Strukturen in der Schweiz fördern eine Weiterentwicklung der Verkehrsinfrastruktur in allen Landesteilen. Die Verkehrspolitik wird mehr als regionale Wirtschaftsförderung statt als schweizweite engpassorientierte Mittelzuscheidung betrachtet. Es überwiegt ein nach Verkehrssystem sowie nach Verkehrsart getrenntes Planen und Entscheiden, da die heutigen Verkehrssysteme kaum eine durchgängig vernetzte Mobilität zulassen. Zurzeit erfolgt ein flächendeckender paralleler Ausbau der Infrastruktur bei den Verkehrssystemen Strasse und Schiene. Parallel zum ungebremsten Verkehrswachstum wird der finanzielle und raumplanerische Druck auf Ausbauten zunehmen. Diese widersprüchlichen Entwicklungen erfordern **innovative und integrative Ansätze zur Gestaltung eines multimodalen Verkehrssystems**. Gefragt ist ein verkehrssystemübergreifendes Kapazitätsmanagement. In Zukunft soll die Mobilität als Gesamtzusammenhang von Fahrzeugen, technischer Infrastruktur, organisatorischen Konzepten, intermodalen Verkehrsansätzen und Betreibermodellen begriffen und verkehrssystemübergreifend konzipiert werden. Umsteigeknoten, sogenannte Mobilitätshubs, werden eine wichtige Rolle in der Vernetzung der Verkehrssysteme einnehmen.

1.2 Forschungsdefizit

Die Arbeit knüpft an die Ergebnisse der Studie „Vision Mobilität Schweiz 2050“ (Stölzle, Weidmann, Klaas-Wissing, Kupferschmid und Riegel, 2015) an. Die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und die Universität St. Gallen haben eine Vision zur Mobilität in der Schweiz im Jahr 2050 erarbeitet. Die wissenschaftliche Publikation dient als Orientierungshilfe und Grundlage bei der Beantwortung von Fragestellungen im Bereich der Mobilitätsentwicklung, der Verkehrsfinanzierung, der technologischen Entwicklung des Verkehrs, der Entwicklung des Infrastrukturbedarfs und der Ausgestaltung von Verkehrsströmen. Die Studie enthält Thesen zur Mobilitätssituation 2050. Ein detaillierter und quantifizierter Nachweis findet nicht statt. Es fehlt eine konkrete strategische Perspektive, welche die Möglichkeiten selbstfahrender Strassenfahrzeuge mitberücksichtigt.

1.3 Forschungsfrage

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll für den Horizont 2050 eine strategische Perspektive in der Form eines Schienenverkehrskonzepts für den Grossraum Zürich–Ostschweiz entwickelt werden. Die Erschliessung erfolgt mit selbstfahrenden Autos über Mobilitätshubs.

1.4 Aufbau der Arbeit

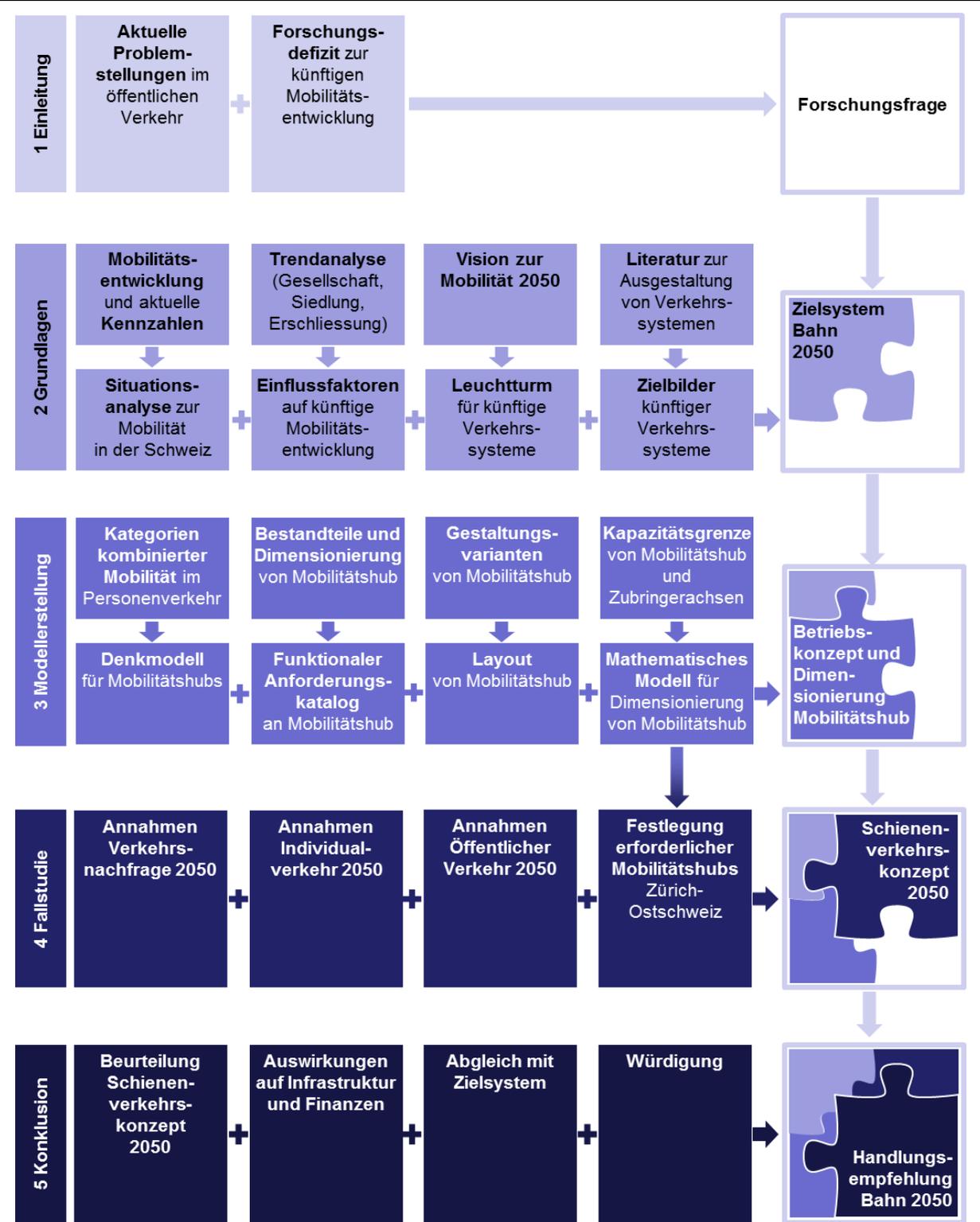
Im Grundlagenkapitel erfolgt die Definition des Zielsystems „Bahn 2050“ in Form von Leitsätzen. Es beinhaltet die Analyse der Mobilitätsituation in der Schweiz und die Untersuchung von generellen Siedlungs- und Erschliessungstrends mit Einfluss auf die Mobilitätsentwicklung. Die Erkenntnisse der Studie „Vision Mobilität Schweiz 2050“ (Stölzle et al., 2015) fliessen als Leuchtturm ebenfalls ins Zielsystem ein. Die Literaturanalyse zur Ausgestaltung von Verkehrssystemen stellt einen weiteren Bestandteil des Zielsystems dar.

Im dritten Teil zur Modellerstellung wird zunächst ein Denkmodell zur Kategorisierung kombinierter Mobilität im Personenverkehr geschaffen. Der Abschnitt zum funktionalen Anforderungskatalog spezifiziert die Bestandteile des Mobilitätshubs. In einem nächsten Schritt wird auf der Basis der Mobilitätsform „kiss and ride“ ein Betriebskonzept entwickelt. Nach der Layoutwahl komplementiert das mathematische Modell die Arbeitsmittel, welche in der späteren Fallstudie auf ihre Anwendbarkeit geprüft werden.

In der Fallstudie wird anhand eines mathematischen Modells die Anzahl an erforderlichen Mobilitätshubs im Raum Zürich–Ostschweiz festgelegt. Auf der Basis von Annahmen zur Verkehrsnachfrage 2050, zum Individual- und öffentlichen Verkehr 2050 erfolgt im Anschluss die Entwicklung des Angebotskonzepts. Dieses soll die Verkehrsabwicklung zwischen den zuvor definierten Mobilitätshubs auf der Schiene sicherstellen. Durch die Fallstudie sollen die Überlegungen für die interessierte Leserschaft besser nachvollziehbar sein. Sie beschreibt eine mögliche Anwendung des Modells in einem charakteristischen Gebiet mit städtischen, urbanen und ländlichen Teilen. Sie dient als Gedankenexperiment zur Konzeptüberprüfung mit realen Verkehrsdaten. Die Fallstudie ist jedoch nicht repräsentativ.

Als Abschluss wird das Schienenverkehrskonzept beurteilt. In der Konklusion werden die Auswirkungen auf die Infrastruktur und die Finanzen eruiert. Nach dem Abgleich mit dem anfänglich definierten Zielsystem Bahn 2050 erfolgt eine Würdigung und die Aufbereitung der Hauptkenntnisse in Form einer Handlungsempfehlung zur Bahn 2050.

Abbildung 2 Aufbau der Arbeit



Quelle: Eigene Darstellung

2 Grundlagen

Die Leitsätze des Zielsystems „Bahn 2050“ basieren einerseits auf der Analyse der Mobilitätsentwicklung und Mobilitätskennzahlen der Schweiz. Andererseits bilden die Trends im Bereich Gesellschaft, Siedlung und Erschliessung die Grundlage. Die Studienerkenntnisse „Vision Mobilität Schweiz 2050“ (Stölzle et al., 2015) fungieren als Leuchtturm. Die Theorie zur Verkehrssystemausgestaltung fliesst als letzter Aspekt in das Zielsystem ein.

2.1 Mobilitätsentwicklung

Das Wirtschaftswachstum in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erhöhte in der Schweiz den Wohlstand und löste die Motorisierung der Gesellschaft aus (Bätzner, 2016). Der private Motorfahrzeugverkehr konkurrierte zunehmend den ÖV, der seine dominante Stellung einbüsste. Unrentable ÖV-Strecken wurden teilweise stillgelegt. So blieben in den Städten nur fünf der ursprünglich 30 Trambetriebe nach 1948 erhalten (Beglinger, 2015). Parallel zum Verlust der Tramnetze dehnten sich die Siedlungsgebiete aus. Die Grundlage dieser Entwicklung war gemäss Bätzner (2016) das Auto. Es stellte eine billige, flexible und individuelle Mobilitätslösung dar und war der Haupttreiber der wachsenden Tagesdistanzen. Für den ÖV bot dieses Siedlungsbild eine schlechte Ausgangslage für eine effiziente Erschliessung. Das Auto wurde auch für Pendler zu einem wichtigen Transportmittel.

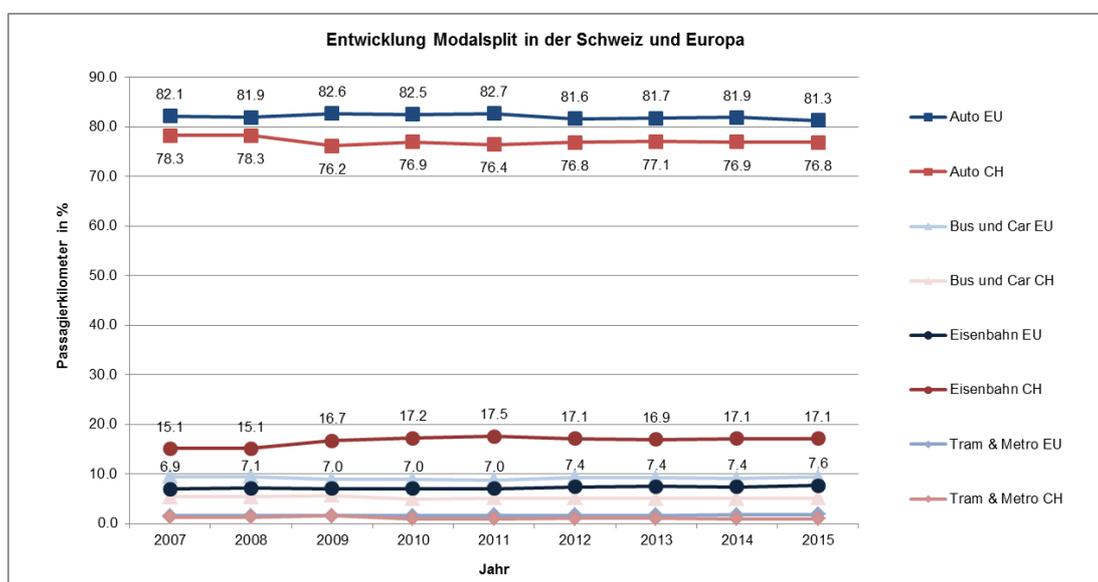
Das hohe Aufkommen des Individualverkehrs führte vor allem in den Schweizer Agglomerationen zu Problemen. Die Lösung hierfür war die autogerechte Stadt. Das oberste Ziel der Stadt- und Verkehrsplanung war die Infrastruktur optimal auf den Strassenverkehr auszurichten. Konzeptionelle Grundlagen waren die Funktionsentflechtung (Charta von Athen) und moderne städtebauliche Leitbilder (Ville Contemporaine). Dem Ziel der autogerechten Stadt wurden ökologische Erfordernisse oder die Bedürfnisse nicht motorisierter Verkehrsteilnehmer untergeordnet (Spektrum, 2001). Die Landnutzung für Verkehrsflächen nahm zu.

Aufgrund der ständigen Belastungen durch Lärm und Abgase, aber vor allem auch durch das neue ökologische Bewusstsein in der Gesellschaft (u.a. Problematik von Waldsterben) wurde ab den 80er Jahren erneut der Ausbau des ÖV gefördert. Neben dem kontinuierlichen Ausbau des Schienennetzes, der Erneuerung des Rollmaterials und der Erhöhung des Komforts wurde 1982 der Taktfahrplan eingeführt. Dieser brachte tagsüber einen Fahrplan im Stunden- oder Halbstundentakt und schuf damit die Voraussetzung für das Projekt „Bahn 2000“. Dieses Projekt strebte die Reduktion der Reisezeiten zwischen den grossen Zentren der Schweiz an.

Die erste Etappe konnte im Dezember 2004 umgesetzt werden (Beglinger, 2015). Weitere Entwicklungen folgten in den kommenden Jahren mit den beschlossenen Ausbausritten der Bahninfrastruktur.

Mit diesen Verbesserungen konnte der Nachfragerückgang im Schienenpersonenverkehr gestoppt werden. Über die letzten zehn Jahre konnte die Eisenbahn in der Schweiz und Europa ihren Marktanteil gegenüber anderen Verkehrsmitteln behaupten. Der Modal Split ist stabil. Der durchschnittliche Anteil des motorisierten Individualverkehrs beträgt in Europa rund 80 Prozent und in der Schweiz rund 75 Prozent. Die restlichen Verkehrsmodi verfügen zusammen über 20 bis 25 Prozent Marktanteil. Der nationale Luftverkehr ist nicht berücksichtigt.

Abbildung 3 Entwicklung Modalsplit in der Schweiz und Europa



Quelle: European Union, 2017

Die 20 bis 25 Prozent sind jedoch je nach Land unterschiedlich zwischen den Verkehrsmitteln aufgeteilt. In der Schweiz nimmt die Eisenbahn mit rund 17 Prozent einen sehr hohen Anteil ein. Dieser Prozentwert basiert auf der hohen Angebotsqualität, der vorteilhaften Topologie und der damit verbundenen Siedlungsstruktur. Zudem wirken sich die fehlende Konkurrenz durch Fernbusse und der geringe inländische Flugverkehr aufgrund der kurzen Distanzen zwischen den Wirtschaftszentren positiv auf die Marktposition der Eisenbahn aus.

Die Digitalisierung wird den Wohlstand in der Schweiz und die Mobilitätsnachfrage in der Gesellschaft weiter erhöhen (Kaiser, 2016). Parallel werden selbstfahrende Autos die Wettbewerbsposition der Strasse gegenüber der Schiene stärken. Aufgrund dieser Annahmen und der Analyse der Mobilitätsentwicklung lassen sich folgende drei Leitsätze ableiten:

***Leitsatz 1:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll eine gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung ermöglichen und die Landnutzung für Verkehrsflächen auf ein Minimum reduzieren.*

***Leitsatz 2:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll auf die Stärken der Eisenbahn und ihre Kernaufgabe als Massentransportmittel setzen.*

***Leitsatz 3:** Mit dem Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Bahnangebot und die Infrastruktur bereinigt und gezielt weiterentwickelt werden. Schwach ausgelastete Strecken sollen hinterfragt und gegebenenfalls zurückgebaut werden.*

2.2 Aktuelle Mobilitätskennzahlen

Seit 1974 wird in der Schweiz alle fünf Jahre eine statistische Untersuchung zum Verkehrsverhalten – auch bekannt als Mikrozensus – durchgeführt. Die letzte Erhebung stammt aus dem Jahr 2015 und wurde im Mai 2017 veröffentlicht. Die Resultate basieren auf einer Befragung von 57'090 Einzelpersonen ab dem sechsten Altersjahr und sollen damit ein detailliertes Bild zum Verkehrsverhalten der Schweizer Bevölkerung liefern (Perret, Danalet und Kowald, 2017).

Die grosse Bedeutung der Mobilität für die Schweizer Gesellschaft widerspiegelt sich im Anteil der mobilen Personen. 89 Prozent der Bevölkerung gelten nach den neusten Erhebungen vom BFS (Perret et al., 2017) als mobil. Das heisst, dass der Anteil der Personen, die nicht mindestens einmal pro Tag das Haus für irgendeinen Zweck verlassen, sehr gering ist. Er beschränkt sich vorwiegend auf ältere Personen. Die Gründe der Immobilität sind primär Krankheiten, fehlende Mobilitätsbedürfnisse, Hausarbeit oder das Wetter (Perret et al., 2017).

Zur Darstellung der Mobilität innerhalb einer Gesellschaft wird zudem die Verfügbarkeit und Nutzung von Fahrzeugen und ÖV-Abonnements herangezogen (Perret et al., 2017). 94 Prozent der Personen, die einen Führerschein besitzen, können jederzeit oder nach Absprache über ein Auto verfügen (Perret et al., 2017). Bei der jungen Bevölkerung ist ein Trend erkennbar. Die Jugendlichen streben zwar den Führerscheinbesitz an, jedoch stellt der Besitz eines Autos nicht mehr zwingend ein relevantes Lebensziel dar. Räumlich betrachtet nimmt der Autobesitz mit zunehmender Besiedlungsdichte ab. Die Autobesitzquote von 88 Prozent bei einem Wohnort ausserhalb von Agglomerationen reduziert sich auf rund 71 Prozent in Agglomerationen mit mindestens 250'000 Einwohnenden. Gleichzeitig steigt mit der Einwohnerdichte der Abonnementbesitz für den öffentlichen Verkehr von 47 Prozent in ländlichen Gebieten auf über 65 Prozent im städtischen Bereich (Perret et al., 2017).

Desweiteren werden im Mikrozensus die mittlere Tagesdistanz (in km), die mittlere Unterwegszeit (in Min.) und die mittlere Anzahl an Etappen, Wegen und Ausgängen als Kennzahlen für die Mobilität angegeben. Im Durchschnitt war 2015 jede Einwohnerin und jeder Einwohner der Schweiz täglich 37 Kilometer im Inland unterwegs (Perret et al., 2017). Zwei Drittel davon sind mit dem MIV bewältigt worden (Perret et al., 2017). Der wichtigste Verkehrszweck über alle Verkehrsmittel betrachtet ist die Freizeit (44%), gefolgt von den Arbeitswegen (24%) (Perret et al., 2017). Die Eisenbahn wird im Vergleich zum Auto in stärkerem Masse für Arbeits- und Ausbildungswege genutzt (43% der Distanzen). Die Bedeutung des Freizeitverkehrs ist beim ÖV (Ausnahme: Postauto) etwas geringer als beim Auto (Perret et al., 2017). Die mittlere tägliche Unterwegszeit beträgt 90.4 Minuten (Perret et al., 2017). Die mittlere Anzahl an Etappen liegt 2015 bei 4.9, jene an Wegen bei 3.4 und an Ausgängen bei 1.3 (Perret et al., 2017). Bei allen Verkehrsmitteln, ausser der Bahn, haben die Etappen grundsätzlich eine kurze Distanz (Perret et al., 2017): Mit dem Auto sind 66 Prozent der Etappen nicht länger als zehn Kilometer. 60 Prozent der Fussetappen, darunter auch solche zu und von ÖV-Haltestellen, sind nicht länger als 500 Meter. Die Bahn ist ein Verkehrsmittel für längere Strecken, da rund 70 Prozent der Etappen länger als zehn Kilometer sind. Eine Studie des Bundesamtes für Statistik (Lautenschütz und Jeanneret, 2016) aus dem Jahr 2016 kommt zum Schluss, dass ein gut ausgebautes öffentliches Verkehrsnetz die Freiheit der Verkehrsmittelwahl erhöht und das Umsteigen vom motorisierten Individualverkehr auf den öffentlichen Verkehr beeinflusst. Entscheidend seien die Anzahl resp. die Erreichbarkeit und die Ausgestaltung der Haltestellen. Über die letzten fünfzehn Jahre sind die Mobilitätsrate und die mittlere Tagesdistanz annähernd unverändert geblieben (Perret et al., 2017).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die aktuelle Schweizer Bevölkerung sehr mobil ist. Die Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse der ländlichen Bevölkerung erfordert eine hohe Individualisierung der Transportleistung. Ein Indiz hierfür ist die höhere Autobesitzquote bei der ländlichen Bevölkerung im Vergleich zu urbanen Gebieten. Die Nachfrage zwischen und innerhalb von Städten ermöglicht gebündelte Mobilitätslösungen. Die Bahn wird primär für Arbeits- und Ausbildungswege mit einer Länge von über zehn Kilometern genutzt. Der Marktanteil des ÖV hängt unter anderem von der Erreichbarkeit und der Ausgestaltung der Haltestellen ab. Aus diesem Sachverhalt können folgende Leitsätze abgeleitet werden.

Leitsatz 4: *Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll sich im ländlichen Gebiet auf den Mittel- und Langstreckenverkehr (>10 Kilometer) fokussieren und die schnelle Anbindung an die Zentren für Berufs- und Ausbildungswege sicherstellen.*

***Leitsatz 5:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Rückgrat des Verkehrsangebots im städtischen Kontext sein und die schnelle Verbindung zwischen den nationalen Zentren ermöglichen.*

Das Mobilitätsverhalten der Schweizer Bevölkerung wird sich auch künftig verändern. Es wird von globalen Trends beeinflusst werden. Eine Studie des Bundesamts für Raumplanung (Dennisen, Kritzingler, Altenburg und Auf der Maur, 2016) geht davon aus, dass insbesondere die Wege mit Bezug zur Wohnung bis 2040 zunehmen werden. Wohnungen werden dank der Digitalisierung wieder vermehrt zu Produzentenhaushalten (u.a. Homeoffice) (Frick und Tenger, 2015). Diese Entwicklung wirkt mobilitätshemmend. Nichts desto trotz wird die beruflich bedingte Mobilität an Bedeutung gewinnen, da in breiten Schichten das Bildungsniveau zunimmt und sich der Strukturwandel in der Arbeitswelt (Arbeitsteilung, Just-in-Time-Lieferungen) fortsetzt. Die Mobilität wird aber auch aufgrund zunehmender Freizeitaktivitäten (veränderte Prioritäten in Work-Life-Balance, Zunahme der älteren und pensionierten Bevölkerung mit gleichzeitiger Verbesserung der Mobilität) wachsen. In einem nächsten Schritt werden weitere externe Einflussfaktoren mit Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten der Schweizer Bevölkerung analysiert.

2.3 Trendanalyse

Innovationen werden die Mobilität mehr denn je beeinflussen. Das Verhalten der Endnutzer wird sich schneller und unmittelbarer verändern. Eine Studie des Gottlieb Duttweiler Instituts (GDI) zeigt, dass die Bevölkerung für radikale Veränderungen in der Mobilitätsbranche bereit ist (Kwiatkowski, 2016). Die soziale Akzeptanz für Wandel ist im Mobilitätssektor höher als in anderen Branchen. Eine Erklärung ist, dass in diesem Bereich dank Automatisierung überproportionale Komplexitätsreduktionen und damit auch Kostensenkungen möglich scheinen.

2.3.1 Individualisierte virtuelle Mobilitätsberater

Durch neue Technologien wird sich der Zugang zum eigenen Unterwegssein wandeln. Das betrifft einerseits die Reisequalität andererseits aber auch die Kosten. Innovationen werden den Verkehrsteilnehmenden helfen, Kosten zu sparen und sich bedarfsgerecht fortzubewegen. Aufgrund der steigenden Mobilitätskosten wird die Nachfrage nach einer individuellen, flexiblen und situationsgerechten Mobilitätslösung steigen. Softwareentwicklungen werden auf diese Ansprüche ausgerichtet. Heute noch vorhandene, virtuelle Systembrüche werden mit intuitiv nutzbaren Apps miteinander vernetzt. Industrielle Strukturen und institutionelle Grenzen in der Mobilitätsbranche werden überwunden. Die Reisenden werden die Kontrolle über ihre

gesamte Reisekette haben. Sie werden sich der Kosten (Energie und Geld) und des Wertes des Unterwegsseins (Komfort und Reisezeitgewinn) in ganz anderer Masse wie heute bewusst sein. In Zukunft wird ein omnipräsenter persönlicher virtueller Mobilitätsassistent die Entscheidungsfaktoren zusammenfassen, den Variantenfächer aufbereiten und eine Reiseempfehlung inklusive der zugehörigen Kosten den Nutzern abgeben (Froböse und Künze, 2013).

***Leitsatz 6:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die neuen Möglichkeiten virtueller und individualisierter Reiseberater und die damit teilweise wegfallenden Verkehrssystembrüche berücksichtigen.*

2.3.2 Multimodalität

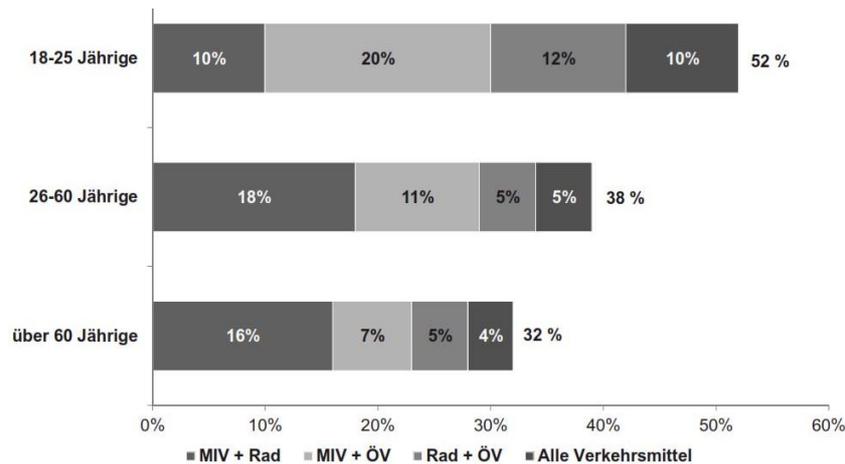
Das Wuppertal Institut prognostiziert, dass die vorherrschende Monomodalität und die routinemässige Bindung an ein Verkehrsmittel in den kommenden Jahren zurückgehen werden (Reutter, Rudolph und Koska, 2016F). Immer häufiger treffen Nutzer situativ die Verkehrsmittelwahl nach rationalen Kriterien und persönlichen Präferenzen. Verkehrsteilnehmer, die unterschiedliche Verkehrsmittel innerhalb eines definierten Zeitraumes benutzen, werden als multimodal bezeichnet. Während Multimodalität die „Variation von Verkehrsmitteln“ bezeichnet, bezieht sich Intermodalität auf die „Verkettung von Verkehrsmitteln“ (Von der Ruhren, Rindsfüser, Beckmann, Kuhimhof, Chlond und Zumkeller, 2003).

Individualisierte virtuelle Mobilitätsberater (vgl. 2.3.1) generieren eine unmittelbare und umfassende Auflistung der verfügbaren Optionen und ermöglichen eine finale Wahl der besten Mobilitätslösung. Diese Form der Verkehrsmittelwahl und -nutzung wird sukzessive in die persönliche Routine eingebaut (Deffner, Hefter und Götz, 2014). Das Auto wird dadurch zur sporadisch genutzten Option innerhalb der Möglichkeiten des ÖV und Langsamverkehrs.

Nach aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen existiert ein Zusammenhang zwischen multimodalem Verkehrsverhalten und dem Alter bzw. der jeweiligen Lebensphase (Nobis, 2007). Multimodalität ist in erster Linie bei jungen Menschen verbreitet, wohingegen im mittleren und höheren Erwachsenenalter der Anteil der Multimodalen deutlich abnimmt. Hier ist das Auto für den Grossteil der Bevölkerung das dominierende Verkehrsmittel. Dies könnte unter anderem auf die geringere Flexibilität durch die Arbeitstätigkeit oder die Familiensituation zurückgeführt werden. Die Multimodalität bei den Älteren wird zudem durch das habitualisierte Verkehrsverhalten, die allgemein abnehmende Flexibilität und die verringerte Motivation zur Neuorientierung gebremst (Ahrens, Aurich, Böhmer, Klotzsch und Pitrone, 2010). Daten einer Studie aus Deutschland zeigen den beschriebenen Sachverhalt exemplarisch auf (Deffner et al., 2014). 52 Prozent der Personen zwischen 18 und 25 Jahre nutzen mehr als ein

Verkehrsmittel in der beobachteten Zeitperiode. 48 Prozent der Befragten Jugendlichen nutzen nur ein Verkehrsmittel. Bei den über 60 Jährigen beträgt der Anteil der multimodalen Verkehrsnutzer nur noch 32 Prozent, ganze 20 Prozent weniger als der Wert der 18 bis 25 Jährigen.

Abbildung 4 Anteil multimodaler Personen nach Altersgruppen



Quelle: Deffner et al., 2014

Gründe für Verhaltensänderungen sind nebst den sozioökonomischen Aspekten und der zunehmenden Durchdringung des Alltags mit Informations- und Kommunikationstechnologien auch die Angebotsveränderungen im Verkehrssystem, die abnehmende Bedeutung des Autos für die Sozialisation, der zunehmende Pragmatismus und wachsende Flexibilität (ifmo, 2011).

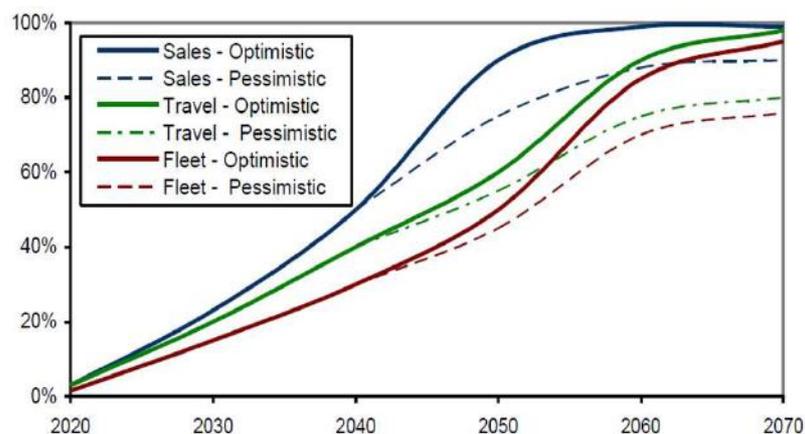
***Leitsatz 7:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die in der Bevölkerung wachsende Bereitschaft für multimodale Verkehrskonzepte aufgreifen und intelligente Mobilitätslösungen anbieten.*

2.3.3 Autonome Fahrzeuge

Die Automobilindustrie forciert die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen. In den kommenden Jahren soll die Technologie den Sprung von den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen zum Konsumenten machen (Silberg, 2013; Howard, 2013; Mui, 2013). Zahlreiche Teilsysteme des selbstfahrenden Autos sind bereits technologisch ausgereift und zum Teil serienmässig als Fahrassistenzsystem verfügbar. Ab 2020 wird die Diffusion weiterer teilautonomer Funktionen erwartet (Dennisen et al., 2016). Ab 2025 ist mit einem hochautomatisierten Fahren in weniger komplexen Umgebungen wie Autobahnen zu rechnen. Gemäss Experten wird die Serienreife von vollständig selbstfahrenden Fahrzeugen um 2030 erreicht (Dennisen et al., 2016). Die internationalen Studien ergeben zur Nachfrage und damit zur

erwarteten Geschwindigkeit der Marktdurchdringung noch kein eindeutiges Bild. Eine Studie der Boston Consulting Group (Lang, N., M. Rüssmann, A. Mei-Pochtler, T. Dauner, S. Komiya, X. Mosquet und X. Doubara, 2016) in Zusammenarbeit mit dem World Economic Forum (WEF) zeigt, dass bereits heute 58 Prozent der Befragten eine Fahrt in einem vollautonomen Fahrzeug machen würden. 69 Prozent würden mit einem teilweise selbstfahrenden Fahrzeug eine Fahrt unternehmen. Bei den jüngeren Konsumenten ist die Bereitschaft am höchsten. 63 Prozent der Befragten unter 30 Jahre sind bereit, mit autonomen Fahrzeugen zu reisen, verglichen mit 46 Prozent der Konsumenten ab 51 Jahren. Konsumenten in deutschen Städten sind nebst den japanischen und holländischen Kollegen am meisten zurückhaltend (44%). Eine Analyse des Bundesamts für Raumplanung geht davon aus, dass es selbst unter optimistischen Rahmenannahmen nach Start der serienmässigen Produktion rund zehn bis fünfzehn Jahre dauern kann, bis autonome Fahrzeuge Bestandsanteile von über 30 Prozent erreichen. Somit ist erst ab 2040 mit einer spürbaren Marktdurchdringung von autonomen Fahrzeugen zu rechnen (Dennisen et al., 2016). Eine Studie der Versicherungsgesellschaft Allianz stützt diese Annahme.

Abbildung 5 Erwartete Marktdurchdringung von autonomen Fahrzeugen



Quelle: Allianz, 2015

Leitsatz 8: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll ab 2040 in ländlichen Gebieten eine Erschliessung mit autonomen Strassenfahrzeugen ermöglichen.

2.3.4 Siedlungstrends

In den kommenden Jahren wird sich der bereits vorhandene Trend der Urbanisierung fortsetzen. Laut UNO werden im Jahre 2050 zwei Drittel der Weltbevölkerung in Metropolen leben (United Nations, 2014). Heute sind es rund fünfzig Prozent. Den grössten Zuwachs werden Städte mit einer Einwohnerzahl von unter einer halben Million zu verzeichnen haben.

Aktuelle Prognosen gehen davon aus, dass die Bevölkerung in der Schweiz bis 2045 mit einer Konzentration auf die bereits grossen Städte (Zürich, Basel, Bern, Genève, Lausanne, Lugano, St. Gallen, Luzern) auf neun bis elf Millionen Einwohnerinnen und Einwohner anwachsen wird (BAV, 2014). Die Städte werden eine Renaissance als Lebens- und Kulturform erleben.

Der Wettbewerb um Bewohner, Besucher, Investoren und Konsumenten wird zunehmen. Das Verhältnis von Stadt und Land wird in diesem Wettbewerb neu definiert. Die Städte werden durchdachte Siedlungskonzepte nutzen, damit sie neben den harten Standortfaktoren die Stakeholder auch mit den weichen Faktoren wie Lebensqualität, Ökologie, Nachhaltigkeit, Kultur und Sicherheit von sich überzeugen können.

***Leitsatz 9:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll den ländlichen Gebieten helfen, sich im Wettbewerb um Bewohner, Besucher, Investoren und Konsumenten neu zu positionieren.*

2.3.5 Erschliessungstrends

Neue Mobilitätsformen lassen sich in Städten einfacher umsetzen, da eine konstante und ausreichend hohe Verkehrsnachfrage vorhanden ist. Zudem wird der klassische MIV mit dem prognostizierten Bevölkerungswachstum noch häufiger von eingeschränkter Strassen- und Parkplatzkapazität beeinträchtigt sein. Mit selbstfahrenden Fahrzeugen, welche konstant in Bewegung sind, können zwar Parkplatzthemen entschärft werden. Die Restriktionen bei der Strassenkapazität für die zulässige oder gewünschte Verkehrsmenge bleiben jedoch bestehen. Der Schienenverkehr kann im urbanen Umfeld weiterhin seine komparativen Vorteile (hohe Beförderungskapazität für Personen und Güter mit geringem Energieverbrauch) zur Geltung bringen. Die reine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung steht weniger im Fokus, da der Metropolitan-Verkehr aufgrund der hohen Nachfragedichte über eine vergleichsweise gute Wirtschaftlichkeit verfügt. Während Regionalbahnen oft einem Kostendeckungsgrad von unter 25 Prozent erreichen, können einzelne S-Bahn-Linien kostendeckend betrieben werden.

***Leitsatz 10:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll in dicht besiedelten Gebieten die kundenorientierte Optimierung und Weiterentwicklung bestehender Bahnangebote ermöglichen.*

Im Gegensatz dazu beschäftigt sich die Verkehrspolitik in ländlichen Regionen vermehrt mit Aspekten der Wirtschaftlichkeit. Selbstfahrende Autos bieten die Möglichkeit Gebiete mit geringer oder stark fragmentierter Nachfrage günstiger und bedarfsgerechter zu erschliessen, als dies mit dem heutigen ÖV-Angebot möglich ist. Die getakteten Züge oder Busse können heute aufgrund der geringen Verkehrsnachfrage oftmals nur dank Subventionen verkehren. Die

Auslastung ausserhalb der Hauptverkehrszeiten ist vielfach unzureichend. Zur nachhaltigen Verkehrsfinanzierung sind für diese Gebiete Mobilitätskonzepte mit selbstfahrenden Autos zu prüfen, die einerseits die regionale Grundversorgung und andererseits die Anbindung der ländlichen Gebiete an die urbanen Regionen über Mobilitätshubs sicherstellen. Wenn es den ländlichen Gemeinden nicht gelingt, diese Aufgabe kundengerecht und zeitnah zu lösen, können die Gebiete entweder von der Entvölkerung betroffen sein oder sie verursachen Folgeprobleme in den urbanen Gebieten und Städten.

Konkret kann es auf den städtischen Strassen durch die zusätzlichen Individualfahrten der ländlichen Bevölkerung vermehrt zu Staubildung kommen. Die Grundphilosophie urbaner Regionen zur Verkehrsbewältigung auf der Schiene könnte durch den übermässig hohen ländlichen Individualverkehr auf den städtischen Strassen geschwächt oder umgangen werden.

***Leitsatz 11:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll innerhalb der ländlichen Gebiete massgeschneiderte Mobilitätslösungen für die disperse Nachfrage ermöglichen.*

Die Ausgestaltung der ländlichen Mobilitätskonzepte hat auch einen Einfluss auf das Schienenverkehrskonzept zwischen den Agglomerationen. Wenn das Bahnangebot auf den ländlichen Zubringerstrecken (bspw. Romanshorn–Weinfelden–Frauenfeld(–Winterthur–Zürich)) nur von den Einwohnern der Gemeinden mit eigenem Bahnhof genutzt wird, kann auf diesen Strecken die kritische Grösse für die erforderliche Taktichte kaum erreicht werden. Die Mobilitätshubs nehmen eine regionale Sammelfunktion für die ländliche Bevölkerung wahr, welche in die Zentren reisen möchte. Mit der zusätzlichen Nachfrage aus den Nachbargemeinden ohne Mobilitätshub kann die lokale Nachfrage ergänzt und die erforderliche Angebotsdichte auf der Schiene erbracht werden. Das Schienennetz kann seine Funktion zur Entlastung der Strassen innerhalb und zwischen den Agglomerationen wahrnehmen.

***Leitsatz 12:** Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll Mobilitätshubs beinhalten, welche die Anbindung der ländlichen Gebiete an die Zentren sicherstellen. Das Angebotskonzept der Bahn zwischen den Mobilitätshubs integriert sich qualitativ und quantitativ in die Erschliessung mit selbstfahrenden Autos.*

2.3.6 Energiewende

Nachdem die Energiewende fundamentale Veränderungen im Energiesektor in die Wege geleitet hat, steht im Mobilitätssektor die „Verkehrswende“ unmittelbar bevor. Der Verkehrssektor hat im Jahr 2014 rund 38 Prozent der Gesamtenergie verbraucht und stellt damit den grössten Energienutzer in der Schweiz dar (Energie Schweiz, 2015). Die steigende Mobilität beeinflusst den Menschen und die Umwelt durch die Freisetzung von klima- und gesundheits-

schädlichen Emissionen, Lärm und durch die Versiegelung von natürlichen Freiräumen negativ. Um diesen Trend zu brechen sind neue Technologien gefragt. Mehrere Prognosen gehen davon aus, dass die Elektromobilität eine dieser Technologien sein wird. Sie wird sich als die Antriebsart der automobilen Zukunft durchsetzen. Schätzungen gehen davon aus, dass im Jahre 2050 in allen europäischen Städten rein elektrisch gefahren wird (Noeren, Reichert, Tönjes und Ernst, 2013).

Gesamthaft will der Bundesrat bis 2050 den Energieverbrauch in der Schweiz reduzieren. Das Ziel ist eine 2000-Watt- und eine 1-1.5-Tonnen CO₂-Gesellschaft. Heute beträgt die durchschnittliche jährliche Dauerleistung der Schweizer Bevölkerung pro Kopf rund 8300 Watt, also mehr als das Vierfache. Mit rund sechs Tonnen pro Kopf und Jahr ist der CO₂-Ausstoss bis zu fünfmal höher als angestrebt (Handels- und Industrieverein des Kantons Bern, 2017). Dies deutet darauf hin, dass die Bevölkerung der Schweiz ihre Mobilitätsgewohnheiten zur Sicherstellung der effektiven Zielerreichung der Energiestrategie anpassen muss.

Leitsatz 13: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll einen wichtigen Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs leisten und die Zielerreichung bis 2050 ermöglichen.

2.3.7 Shared Mobility

Die gemeinschaftliche Nutzung von Verkehrsmitteln (Shared Mobility) ermöglicht die Einsparung von Ressourcen, ohne Einschränkungen bei der Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse hinnehmen zu müssen. Shared Mobility wird heute bereits im ÖV praktiziert. Sie funktioniert aufgrund der erforderlichen hohen Nutzerdichte besonders gut im urbanen Raum. Mit den neuen Technologien (individualisierte virtuelle Reiseplaner und selbstfahrende Autos) kann das Shared Mobility-Angebot auf den MIV ausgeweitet und im ÖV optimiert werden. In letzter Konsequenz werden die Kunden die selbstfahrenden Autos wie ein öffentliches Verkehrsmittel für die Befriedigung ihrer individuellen Mobilitätsbedürfnisse nutzen können. Sie müssen weder im Besitz des Autos noch eines Führerscheins sein. Es erscheint durchaus plausibel, dass selbstfahrende Autos flächendeckend im Rahmen von Shared Mobility zum Einsatz kommen werden. Shared Mobility lässt sich wie folgt kategorisieren (Dennisen et al., 2016):

- **Stationsbasierte Systeme** mit autonomen Fahrzeugen entbinden die Nutzer vom Weg zum Parkplatz oder der Ausleihstation. Die Autos werden zentral vorgehalten und können angefordert werden. Die Stützpunkte können sich auch ausserhalb der dicht besiedelten Zentren befinden. Die Fahrt zum Kunden und zurück zum Stützpunkt übernehmen die Fahrzeuge selbständig.

- **Free-Floating-Systeme** beinhalten autonome Fahrzeuge, welche sich frei und kontinuierlich im Raum bewegen. Sie fahren selbständig von Auftrag zu Auftrag. Unter der Annahme einer höheren Auftragsfrequenz ist diese Variante dem stationsbasierten System wirtschaftlich überlegen. Da die Fahrzeuge im Regelfall ständig zirkulieren, kann der Parkplatzbedarf zusätzlich reduziert werden.

Der Ressourcenbedarf kann sowohl beim stationsbasierten wie beim Free-Floating-System mittels Ride-Sharing noch weiter optimiert werden. Gemäss einer Studie der Boston Consulting Group (Lang et al, 2016) würden 37 Prozent der Befragten die Fahrt mit Fremden teilen. Bei Frauen sind es nur 33 Prozent. Sicherheitsüberlegungen können zu dieser Differenz geführt haben. Glas-Trennwände, Kameras und andere Sicherheitsmerkmale können helfen, das Sicherheitsempfinden und die Privatsphäre in den Fahrzeugen zu erhöhen und damit die generelle Nutzungsbereitschaft stärken. Nebst den geschlechterspezifischen Unterschieden konnten in der Studie (Lang et al., 2016) auch kulturelle Differenzen festgestellt werden. In Ländern wie China, Singapur oder Indien, in welchen das Taxi-Sharing schon häufig praktiziert wird, gibt es am wenigsten Widerstand. Die grösste Skepsis ist in Europa (Grossbritannien, Deutschland und Frankreich) zu verzeichnen. Im Allgemeinen ist die Bereitschaft bei den unter 30 Jährigen höher (45%), verglichen mit den 22 Prozent bei den über 50 Jährigen.

Diese Präferenz ist jedoch nicht abschliessend und stark von der Preisgestaltung abhängig. Wenn die Transportleistung im geteilten Fahrzeug gleich teuer ist wie ein individueller Transport, würden sich nur elf Prozent für den geteilten Transport aussprechen. Die Bereitschaft steigt auf 37 Prozent, wenn die Fahrt im geteilten Taxi mit einem Rabatt von 50 Prozent verbunden wäre. 52 Prozent würden die Shared Mobility bei einem Rabatt von 75 Prozent nutzen. In der Studie wird die Fragestellung zur Preisgestaltung jedoch nicht abschliessend beurteilt. Gerade in ländlichen Gebieten kann eine Optimierung der Auslastung zu einer Desoptimierung der individuellen Reisedistanz oder -zeit führen. Je geringer die Preissensibilität der Nutzer ist, desto geringer wird auch deren Bereitschaft sein, solche Desoptimierungen zu akzeptieren. In anderen Lebenssituationen zeigt sich, dass mit zunehmendem Alter und Kaufkraft die Preissensibilität rückläufig ist.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass bei der älteren Generation die Bedeutung von Shared Mobility trotz steigender Mobilitätskosten geringer bleiben wird als bei der jungen Generation. Daraus ergeben sich zu erwartende gegensätzliche Effekte mit Blick auf den Fahrzeugbesitz in der Schweiz: Für die junge Generation kann von tendenziell abnehmenden Besitzquoten ausgegangen werden, während die ältere Generation eher am Autobesitz festhalten wird (Dennisen et al., 2016).

Leitsatz 14: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll sowohl für Reisende, welche Shared Mobility Angebote nutzen, wie für Reisende mit eigenem selbstfahrenden Auto sinnvoll nutzbar sein.

2.4 Vision zur Mobilität 2050

Die wissenschaftliche Publikation „Vision Mobilität Schweiz 2050“ (Stölzle et al., 2015) der Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und der Universität St. Gallen enthält eine Vision zur Mobilität in der Schweiz im Jahr 2050. Die Studie enthält Thesen zur Mobilitätssituation 2050. So wird unter anderem festgehalten, dass in diesem Horizont die Automatisierung des Verkehrs weit fortgeschritten ist und sich autonome und vernetzte Verkehrssysteme grösstenteils durchgesetzt haben. Zudem sollen Anbieter mit neuen Geschäftsmodellen und neue Verkehrsmittel das Mobilitätsangebot erweitern. Alle Anbieter sind in ein Gesamtsystem integriert und das Kapazitätsmanagement soll intermodal betrieben und optimiert werden.

Leitsatz 15: Im Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Kapazitätsmanagement und der Betrieb intermodal und automatisiert erfolgen.

2.5 Literatur zur Ausgestaltung von Verkehrssystemen

Rodrigue, Comtois und Slack (2017) haben ein Grundlagenwerk zur Ausgestaltung von Verkehrssystemen erarbeitet. Darin wird definiert, dass jede Bewegung einen Zweck hat. Sie zeichnet sich durch einen Start (Quelle), einen Endpunkt (Ziel) und eine Anzahl an endlichen Zwischenstationen aus. Verkehrssysteme sind die Voraussetzung dieser Mobilität und bestehen aus Kanten, Knoten und Modi. Sie werden vielfach als Netzwerke dargestellt. Der Begriff Netzwerk bezieht sich auf die Gesamtheit von Kanten innerhalb eines Systems von Knoten.

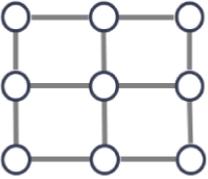
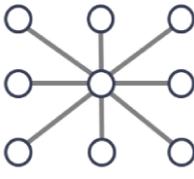
Bei der Ausgestaltung von Verkehrssystemen sind gemäss Rodrigue et al. (2017) folgende vier Grundfunktionen umzusetzen:

1. Im Verkehrssystem ist ausreichend Kapazität auf den Kanten und in den Knoten einzuplanen. Es soll im MIV zu keinem Stau (Kante) und Parkplatzmangel (Knoten) respektive im ÖV nicht zu fehlenden Sitzplätzen (Kante) und Perronkanten (Knoten) kommen.
2. Im Verkehrssystem sind für störungsbedingte Unterbrüche Ausweichrouten einzuplanen. Damit soll die Ausfallsicherheit des Verkehrssystems gewährleistet werden.
3. Die Knoten sind so anzuordnen und zu verknüpfen, dass das Verkehrsnetz seine Wirkung und die Knoten ihre Sammel- und Integrationsfunktion erfüllen können.
4. In Umsteigeknoten oder Mobilitätshubs selbst ist der Übergang so einfach und bequem wie möglich zu gestalten, damit keine Nutzungsprobleme im Verkehrssystem auftreten.

2.5.1 Topologische Attribute

Die Netzwerkstruktur kann gemäss Rodrigue et al. (2017) zentrifugal oder zentripetal ausgeprägt sein. Je nachdem resultieren unterschiedliche Erreichbarkeitslevels für die Knoten.

Tabelle 1 Topologie von zentrifugalen und zentripetalen Netzwerkstrukturen

	zentrifugal (dezentralisiert)	zentripetal (zentralisiert)
		
Zentralität	<ul style="list-style-type: none"> keine spezifische Zentralität Knoten sind grundsätzlich gleichwertig 	<ul style="list-style-type: none"> ausgeprägte Zentralität ausgewählte Knoten wichtiger als andere
Netzwerkstruktur	<ul style="list-style-type: none"> gitterartig 	<ul style="list-style-type: none"> radial
Verbindungstyp	<ul style="list-style-type: none"> Punkt-zu-Punkt-Verbindungen Direktverbindung zwischen benachbarten Knoten geringe Bündelung der Verkehrsströme 	<ul style="list-style-type: none"> Hub-Konzept Direktverbindung zwischen relevanten Knoten, teilweise fehlende Direktverbindung zwischen benachbarten Knoten starke Bündelung der Verkehrsströme
Anzahl Kanten	<ul style="list-style-type: none"> hoch 	<ul style="list-style-type: none"> gering-mittel
Nachfrage pro Kante	<ul style="list-style-type: none"> gering-mittel 	<ul style="list-style-type: none"> mittel-hoch
Transportkosten	<ul style="list-style-type: none"> mittel-hoch 	<ul style="list-style-type: none"> gering-mittel
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> Gleichbehandlung der Knoten führt zu gleichen Standortvorteilen reflektiert besser Präferenz der Benutzer 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Netzwerk-Effizienz
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> hohe Erschliessungskosten auch bei geringen Verkehrsvolumen. 	<ul style="list-style-type: none"> Begünstigung von begrenzter Knotenzahl erhöhte Anfälligkeit bei Störungen und Verzögerungen, da weniger Alternativrouten zwischen Knoten vorhanden sind

Quelle: Rodrigue et al., 2017

Leitsatz 16: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll aufgrund der hohen Systemfixkosten und der angestrebten Effizienz eine zentripetale Netzwerkstruktur anstreben.

2.5.2 Strukturelle Attribute

Ein Verkehrssystem soll jedoch nicht nur anhand der Netzwerkstruktur charakterisiert werden. Eine weitere Dimension stellen die Nutzungsstufen der Kanten und Knoten dar (u.a. direkte Züge pro Stunde und Richtung (inkl. verfügbare Sitzplätze), Anzahl Passagiere (DTV)).

Im Raum Zürich–Ostschweiz lassen sich folgende strukturelle Attribute identifizieren:

Tabelle 2 Strukturelle Attribute für Kanten im Raum Zürich–Ostschweiz

Fahrplan 2017: Grundangebot (Nebenverkehrszeit)		
Hauptnetz	Direkte Züge pro Stunde und Richtung	Anzahl verfügbare Sitzplätze pro Stunde und Richtung¹
Schaffhausen–Zürich	4	4'280
Bülach–Zürich	3	3'210
Romanshorn–Zürich	1	1'070
St. Gallen–Zürich	3	3'210
Winterthur–Zürich	13	13'910
Effretikon–Zürich	10	10'700
Wetzikon–Zürich	8	8'560
Rapperswil–Zürich	6	6'420
Meilen–Zürich	4	4'280
Chur–Zürich	2.5	2'675
Pfäffikon SZ–Zürich	6	6'420
Thalwil–Zürich	9	9'630
Zubringernetz	Direkte Züge pro Stunde und Richtung	Anzahl verfügbare Sitzplätze pro Stunde und Richtung²
Bülach–Winterthur	2	808
Schaffhausen–Kreuzlingen	2	808
Kreuzlingen–Rorschach	2	808
Stein am Rhein–Winterthur	1	404
Winterthur–Bauma	2	808
Bauma–Rüti ZH	1	404
Effretikon–Pfäffikon/ZH	2	808
Weinfelden–Wil/SG	1	404
Weinfelden–Gossau–St. Gallen	1	404
St. Gallen–Romanshorn	2	808
Wil/SG–Wattwil	2	808
St. Gallen–Wattwil	3	1212
Wattwil–Uznach	2	808
St. Gallen–Sargans	2	808
Uznach–Ziegelbrücke	2	808
Ziegelbrücke–Glarus	2	808

¹ Referenzrollmaterial: KISS160, Stadler, Länge: 150m (Einfachtraktion), verkehrt in Doppeltraktion, Sitzplätze: 535 (Einfachtraktion), 1'070 (Doppeltraktion)

² Referenzrollmaterial: FLIRT160, Stadler, Länge 81m, (Einfachtraktion), verkehrt in Doppeltraktion, Sitzplätze: 202 (Einfachtraktion), 404 (Doppeltraktion)

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 3 Strukturelle Attribute für Knoten im Raum Zürich–Ostschweiz

Betriebspunkt	Durchschnittlicher Tagesverkehr DTV (Jahr 2014)	durchschnittlicher Werktagsverkehr DWV (Jahr 2014)
Zürich HB	396'300	441'400
Winterthur	91'500	105'200
Zürich Oerlikon	70'900	84'500
Zürich Stadelhofen	68'100	81'100
Zürich Hardbrücke	47'200	56'600
St. Gallen	47'100	52'900
Zürich Altstetten	32'100	39'900
Wetzikon	24'100	28'300
Chur	23'600	24'100
Uster	23'500	27'600
Zürich Flughafen	43'700	46'600
Rapperswil	21'700	23'600
Stettbach	19'900	24'000
Wil	19'800	22'400
Dietikon	19'500	22'700
Thalwil	17'300	19'800
Bülach	17'200	20'000
Schaffhausen	17'000	19'200
Effretikon	16'600	19'300
Wädenswil	16'200	18'700
Weinfelden	15'500	17'700
Pfäffikon SZ	14'200	16'100
Zürich Enge	13'000	16'500
Frauenfeld	12'800	14'400
Landquart	12'400	12'300
Wallisellen	11'600	14'500
Schwerzenbach ZH	11'400	13'600
Sargans	11'300	12'100
Romanshorn	10'600	11'500
Gossau SG	10'100	11'000
Schlieren	10'100	12'000

Quelle: Schweizerische Bundesbahnen, 2015

Leitsatz 17: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll auf Basis der strukturellen Attribute der Kanten und Knoten des aktuell geplanten Netzwerks weiterentwickelt werden.

2.5.3 Modale Attribute

Eine dritte Dimension der Netzwerkstruktur stellt die Existenz von Alternativverbindungen innerhalb der Netzwerke oder auf benachbarten Netzwerken (bei Schiene die Strasse und bei Strasse die Schiene) dar.

Wenn die Strasse eine vergleichbare Alternative zur Schiene darstellt, kann gegebenenfalls auf eine Alternativverbindung im Schienenverkehrsnetz verzichtet werden. Für den Ereignisfall würde der Verkehr, welcher nicht mehr auf der Schiene abgewickelt werden kann, über ein Shuttle-System auf der Strasse abgewickelt werden.

Abbildung 6 Modale Attribute für Verkehrssysteme im Raum Zürich–Ostschweiz



Quelle: Eigene Darstellung

Leitsatz 18: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll über ausreichend Alternativverbindungen verfügen, so dass im Ereignisfall der Verkehr über alternative Verkehrsrouten geführt werden kann.

2.5.4 Föderalistische Attribute

Jede Sprachregion und jeder Kanton sollte, wenn raumplanerisch und technisch möglich, mit den nationalen Verkehrsnetzwerken verbunden sein. In den Kantonshauptstädten resp. in unmittelbarer Nähe sollten die Mobilitätshubs vorhanden sein.

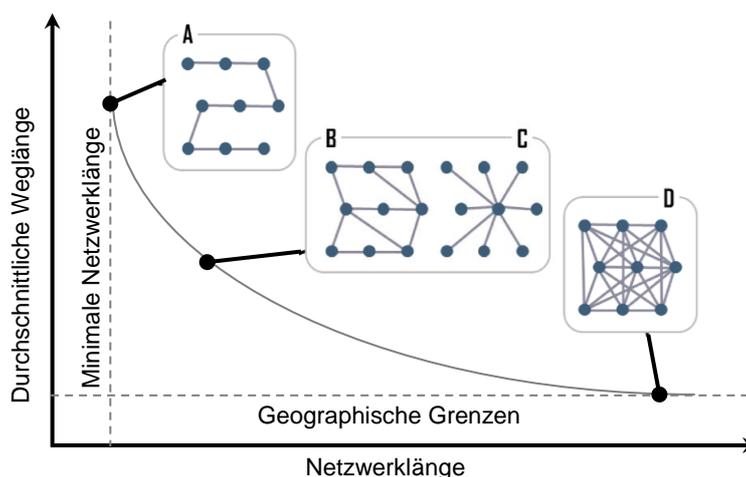
Leitsatz 19: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die verschiedenen Landesteile ausreichend berücksichtigen.

2.5.5 Verkehrssystemkategorien

Die Attribute lassen sich in drei Verkehrssystemkategorien (Black, 2000) zusammenfassen:

- Das minimale Netzwerk (A) stellt die einfachste Konfiguration dar, um eine Menge von Orten zu verknüpfen. Es hat die längste durchschnittliche Pfadlänge.
- Das Zwischennetz (B oder C) verfügt über eine Topologie, die einen Kompromiss zwischen den Mängeln des Minimalismus und dem Übermass an Redundanzen darstellt. Dies sind sogenannte Hub-Speichen-Netzwerke und ermöglichen eine rationalisierte Erschliessung eines Gebietes.
- Das komplette Netzwerk (D) ist ein hochredundantes Netzwerk mit einer komplizierten Topologie. Die durchschnittliche Pfadlänge entspricht annähernd der Luftdistanz zweier Punkte. Es ist das Netzwerk mit der niedrigsten durchschnittlichen Weglänge.

Abbildung 7 Verkehrssystemkategorien



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Black, 2000

Leitsatz 20: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll als Hub-Speichen-Netzwerk definiert werden und somit die rationalisierte Verkehrserschliessung auf der Schiene sicherstellen.

2.5.6 Netzwerkeffizienz

Mittels Netzwerkanalysen soll die Effizienz des Netzwerks gemessen werden. Im vorliegenden Modell und in der Fallstudie wird die Netzwerkeffizienz primär anhand der Reisezeitgewinne und -verluste zwischen zwei Knoten im Vergleich zum heutigen Angebot beurteilt. Indikativ wird für das optimierte Schienennetz das Einsparpotential im Unterhalt ausgewiesen.

Leitsatz 21: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll zwischen den verbleibenden Knoten die heutigen Reisezeiten und Angebotsdichten beibehalten, respektive verbessern.

Leitsatz 22: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll Einsparungen bei der Instandhaltung der Systemelemente ermöglichen.

2.6 Zielsystem Bahn 2050

Die erarbeiteten Leitsätze lassen sich im Zielsystem Bahn 2050 wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 4 Zielsystem Bahn 2050 (1. Teil)

Hauptziel	Teilziele
H1 Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahn	<i>T1.1: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll auf die Stärken der Eisenbahn und ihre Kernaufgabe als Massentransportmittel setzen (Leitsatz 2).</i>
	<i>T1.2: Mit dem Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Bahnangebot und die Infrastruktur bereinigt und gezielt weiterentwickelt werden. Schwach ausgelastete Strecken sollen hinterfragt und ggf. zurückgebaut werden (Leitsatz 3).</i>
	<i>T1.3: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll aufgrund der hohen Systemfixkosten und der angestrebten Effizienz eine zentripetale Netzwerkstruktur anstreben (Leitsatz 16).</i>
	<i>T1.4: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll Einsparungen bei der Instandhaltung der Systemelemente ermöglichen (Leitsatz 22).</i>
H2 Definition von neuer Ausbaustrategie mit innovativen Lösungsansätzen	<i>T2.1: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung ermöglichen und die Landnutzung für Verkehrsflächen auf ein Minimum reduzieren (Leitsatz 1).</i>
	<i>T2.2: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die neuen Möglichkeiten virtueller und individualisierter Reiseberater und die damit teilweise wegfallenden Verkehrssystembrüche berücksichtigen (Leitsatz 6).</i>
	<i>T2.3: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll ab 2040 in ländlichen Gebieten eine Erschliessung mit autonomen Strassenfahrzeugen ermöglichen (Leitsatz 8).</i>
	<i>T2.4: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll sowohl für Reisende, welche Shared Mobility Angebote nutzen, wie für Reisende mit eigenem selbstfahrenden Auto sinnvoll nutzbar sein (Leitsatz 14).</i>
	<i>T2.5: Im Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Kapazitätsmanagement und der Betrieb intermodal und automatisiert erfolgen (Leitsatz 15).</i>

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 5 Zielsystem Bahn 2050 (2. Teil)

Hauptziel	Teilziele
H3 Sicherstellung der effizienten und effektiven Grundversorgung im Mobilitätsbereich	<i>T3.1: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die verschiedenen Landesteile ausreichend berücksichtigen (Leitsatz 19).</i>
	<i>T3.2: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll den ländlichen Gebieten helfen, sich im Wettbewerb um Bewohner, Besucher, Investoren und Konsumenten neu zu positionieren (Leitsatz 9).</i>
	<i>T3.3: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll innerhalb der ländlichen Gebiete massgeschneiderte Mobilitätslösungen für die disperse Nachfrage ermöglichen (Leitsatz 11).</i>
	<i>T3.4: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll in dicht besiedelten Gebieten die kundenorientierte Optimierung und Weiterentwicklung bestehender Bahnangebote ermöglichen (Leitsatz 10).</i>
	<i>T3.5: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll einen wichtigen Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs leisten und die Zielerreichung bis 2050 ermöglichen (Leitsatz 13).</i>
H4 Gestaltung eines multimodalen Verkehrssystems	<i>T4.1: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die in der Bevölkerung wachsende Bereitschaft für multimodale Verkehrskonzepte aufgreifen und intelligente Mobilitätslösungen anbieten (Leitsatz 7).</i>
	<i>T4.2: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll auf Basis der strukturellen Attribute der Kanten und Knoten des aktuell geplanten Netzwerks weiterentwickelt werden (Leitsatz 17).</i>
	<i>T4.3: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll als Hub-Speichen-Netzwerk definiert werden und somit die rationalisierte Verkehrserschließung auf der Schiene sicherstellen (Leitsatz 20).</i>
	<i>T4.4: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll zwischen den verbleibenden Knoten die heutigen Reisezeiten und Angebotsdichten beibehalten, respektive verbessern (Leitsatz 21).</i>
	<i>T4.5: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll über ausreichend Alternativverbindungen verfügen, so dass im Ereignisfall der Verkehr über alternative Verkehrsrouten geführt werden kann (Leitsatz 18).</i>
	<i>T4.6: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll sich im ländlichen Gebiet auf den Mittel- und Langstreckenverkehr (>10 Kilometer) fokussieren und die schnelle Anbindung an die Zentren für Berufs- und Ausbildungswege sicherstellen (Leitsatz 4).</i>
	<i>T4.7: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Rückgrat des Verkehrsangebots im städtischen Kontext sein und die schnelle Verbindung zwischen den nationalen Zentren ermöglichen (Leitsatz 5).</i>
	<i>T4.8: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll Mobilitätshubs beinhalten, welche die Anbindung der ländlichen Gebiete an die Zentren sicherstellen. Das Angebotskonzept der Bahn zwischen den Mobilitätshubs integriert sich qualitativ und quantitativ in die Erschließung mit selbstfahrenden Autos (Leitsatz 12).</i>

Quelle: Eigene Darstellung

Im letzten Kapitel wird ein Abgleich des in der Fallstudie plausibilisierten Modells mit dem Zielsystem gemacht (vgl. Kapitel 5.3).

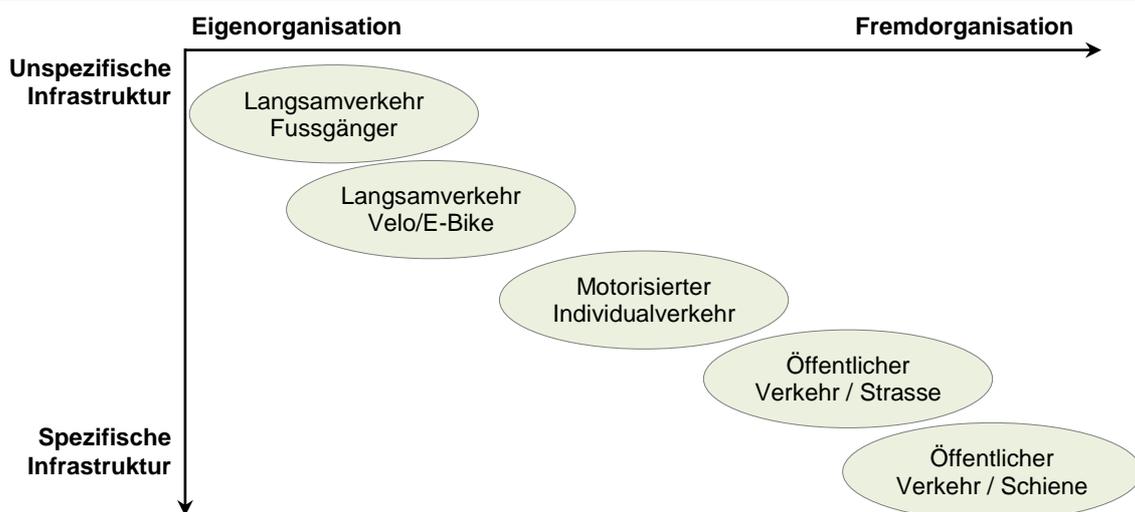
3 Modellerstellung

Im nächsten Arbeitsschritt wird zunächst ein Denkmodell zur Kategorisierung kombinierter Mobilität im Personenverkehr geschaffen. Der Abschnitt zum funktionalen Anforderungskatalog spezifiziert die Bestandteile des Mobilitätshubs. Darauf aufbauend wird anhand der Mobilitätsform „kiss and ride“ ein Betriebskonzept für einen Mobilitätshub entwickelt. Nach der Festlegung des Layouts komplementiert das mathematische Modell die Arbeitsmittel, welche in der späteren Fallstudie auf ihre Anwendbarkeit geprüft werden.

3.1 Denkmodell für Mobilitätshubs

Mobilitätsformen mit autonomen Fahrzeugen erfordern eine Überprüfung der bestehenden Begrifflichkeiten und Kategorisierungen. Ein Begriff, der in der Diskussion vermehrt zur Anwendung kommt, ist jener des „öffentlichen Individualverkehrs“. Diese Bezeichnung impliziert, dass eine Verschmelzung zwischen dem öffentlichen und dem Individualverkehr stattfindet. Betrachtet man die bisherigen Definitionen der Verkehrssysteme sind Differenzen zum neuen Hybrid-Begriff erkennbar. Das folgende Basismodell kategorisiert die Verkehrssysteme anhand der erforderlichen Infrastruktur und der Organisationsanforderungen.

Abbildung 8 Ausprägungen der Verkehrssysteme



Quelle: Weidmann, 2016

Es ist ersichtlich, dass der ÖV auf eine spezifische Infrastruktur angewiesen und stark fremd organisiert ist. Beim Individual- und Langsamverkehr kann zunehmend eine unspezifische Infrastruktur genutzt werden. Diese Systeme organisieren sich mehrheitlich selbst.

Die Fremdorganisation prägt den ÖV stark. Dies ist auch bei den vorhandenen Definitionen zu diesem Verkehrssystem erkennbar. Die Hauptcharakteristika sind (Weidmann, 2016):

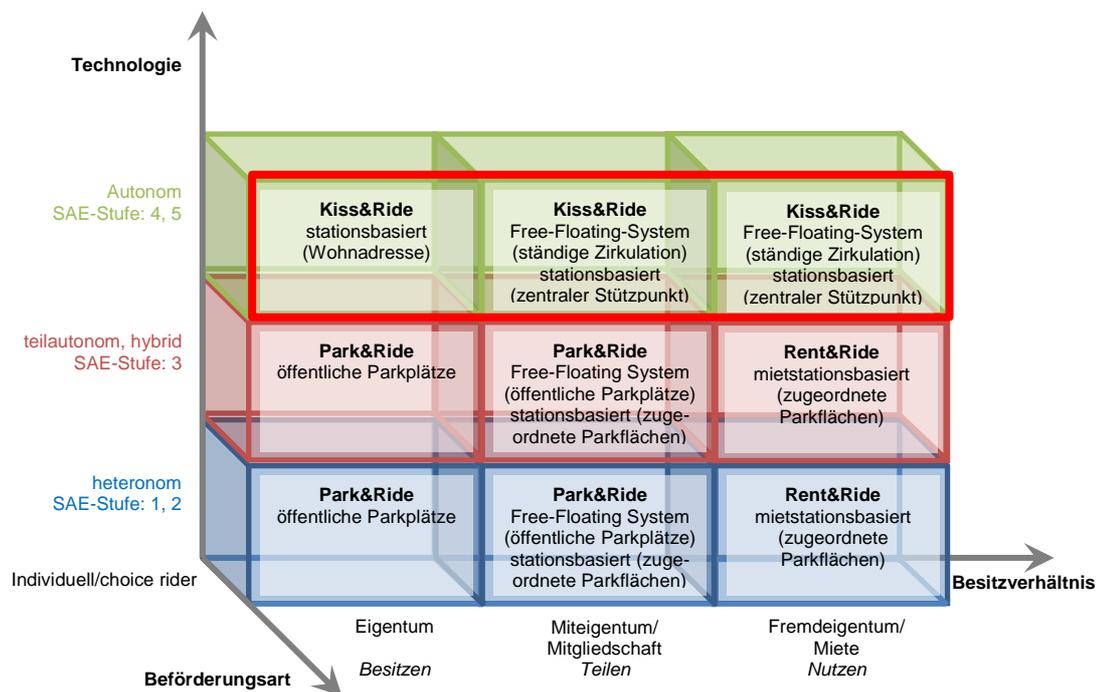
- Das Mobilitätsangebot ist für die ganze Bevölkerung öffentlich zugänglich.
- Es ist öffentlich bekannt und verfügt über fixe Fahr- und Betriebszeiten.
- Die Bedienung erfolgt über definierte Strecken und Haltestellen resp. Abfahrts-/Zielorte.
- Als Nutzungsvoraussetzung gilt die Einhaltung der Beförderungsbedingungen.
- Das Preisniveau ist öffentlich bekannt und zahlbar.
- Die Beförderung kann kollektiv (Zug, Linienbus) oder individuell (Taxi) erfolgen.
- Aus wirtschaftlicher Sicht erfolgt eine Aufteilung in zwei Untergruppen. Bereiche, welche die Grundversorgung sicherstellen, sind oft durch den Staat subventioniert (Gruppe 1). Eigenwirtschaftliche Bereiche (bspw. Fernverkehr) werden von der öffentlichen Hand in Form von Konzessionen privaten Leistungserbringern verkauft (Gruppe 2).
- Weitere Unterteilungen gibt es im Bereich der Technik (einzelne Transporteinheiten vs. Stetigförderer oder Selbstfahrer vs. fremdgetriebene Einheiten).

Im Individualverkehr nutzt die mobile Bevölkerung ein ihr zur Verfügung stehendes Verkehrsmittel oder sie geht zu Fuss. Wie im öffentlichen Verkehr kann auch im Individualverkehr entweder eine kollektive (Werkbus, Werkbahn) oder eine individuelle Beförderung (Auto, Velo, Motorrad) erfolgen (Weidmann, 2016). Im Gegensatz zum öffentlichen Verkehr können die Reisenden des Individualverkehrs jedoch frei entscheiden, zu welcher Zeit und für welchen Weg das Verkehrsmittel genutzt wird (engl. choice rider).

Wenn nun die Verkehrssysteme weitgehend autonom betrieben werden können, konvergieren die Systeme des MIV und des ÖV auf der Strasse. Die Nutzbarkeit der Systeme nähert sich insbesondere im Bereich der Fahr- und Betriebszeiten und der definierten Strecken und Halteorte einander an. Je nach Nachfragestruktur kann es sein, dass der MIV mit autonomen Fahrzeugen den ÖV auf der Strasse verdrängt. Die Kategorisierung des MIV bleibt jedoch unverändert, auch wenn beispielsweise die SBB eine Flotte an autonomen Strassenfahrzeugen betreibt. In diesem Fall wäre die SBB eine Mobilitätsanbieterin im ÖV (Schienenverkehr) und im MIV (autonomer Strassenverkehr). Der Begriff „öffentlicher Individualverkehr“ ist somit ungenau und wird in dieser Arbeit nicht weiter verwendet.

In einem nächsten Schritt sollen anhand eines Denkmodells die Kategorien der kombinierten Mobilität im Personenverkehr basierend auf dem jeweiligen Technologielevel und den Besitzverhältnissen der Fahrzeuge visualisiert werden. In einer ersten Phase wird die individuelle Beförderung betrachtet. Nachgelagert erfolgt die Weiterentwicklung für die kollektive Beförderung.

Abbildung 9 Kategorien kombinierter Mobilität mit individueller Beförderung

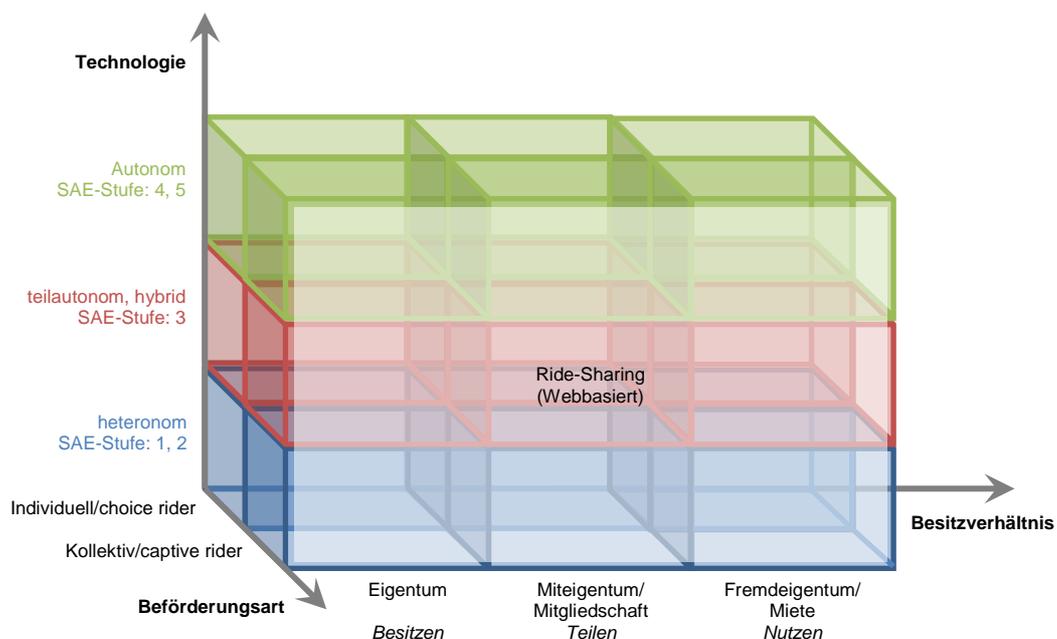


Quelle: Eigene Darstellung

Die Ausprägungen der Verkehrssysteme mit heteronomen und hybriden Elementen unterscheiden sich kaum voneinander. Insbesondere bei der Ausgestaltung von Mobilitätshubs lassen sich mit teilautonomen Systemen noch kaum revolutionäre Massnahmen umsetzen. Die stärkere Bündelung der Verkehrsströme auf der Schiene mit einer reduzierten Zahl an Betriebspunkten würde aufgrund des zusätzlichen Flächenbedarfs für Parkplätze scheitern. Erst die flächendeckende Nutzung von autonomen Fahrzeugen ermöglicht eine fundamentale Neugestaltung der Verkehrssysteme und Neudefinition der möglichen Umsteigeknoten. Da die Abstellung der Fahrzeuge in Bahnhofsnähe hinfällig wird, erfolgt die Definition der Kapazitätsgrenze für die individuelle Erschliessung nicht mehr über die Abstellkapazität am Bahnhof sondern über die Leistungsfähigkeit der Zubringerstrassen.

Die kollektive Beförderung erfolgt im MIV durch Ride-Sharing-Angebote. Captive-Rider schliessen sich einem Choice-Rider an, um eine Strecke gemeinsam zurückzulegen. Die Captive-Rider müssen sich dem Choice-Rider in Bezug auf die Fahrzeiten und allfällige Routenwahl anpassen. Aber auch der Choice-Rider muss bei seiner Routenwahl Kompromisse eingehen. Dafür profitiert er von geringeren Transportkosten. Das Ride-Sharing-Angebot ist jedoch klar von möglichen autonomen Angeboten im ÖV mit Stadt- oder Fernbussen zu unterscheiden. Wenn die Quelle oder das Ziel ein gebündeltes Mobilitätsangebot zulassen (bspw. Spitäler, grosse Unternehmen, Aus- und Weiterbildungsinstitute, Freizeiteinrichtungen), können autonome Busse eingesetzt werden. Diese verkehren vom Mobilitätshub (gebündelte Zubringerleistung) direkt zur entsprechenden Einrichtung. Die Erschliessung erfolgt über definierte Strecken und Haltestellen resp. Abfahrts-/Zielorte (Charakteristikum von ÖV).

Abbildung 10 Kategorien kombinierter Mobilität mit kollektiver Beförderung



Quelle: Eigene Darstellung

Als Hauptszenario wird das Betriebskonzept für einen Mobilitätshub anhand der Mobilitätsform „kiss and ride“ entwickelt. Es wird angenommen, dass die Erschliessung ausschliesslich über den Langsamverkehr und den MIV erfolgt. Eine Reduktion der Anzahl Fahrten durch die Bündelung der Verkehrsströme mit selbstfahrenden Bussen wird nicht berücksichtigt.

3.2 Funktionaler Anforderungskatalog an Mobilitätshub

Wie im Denkmodell aufgezeigt, wird die Kapazitätsgrenze für die Erschliessung eines Bahnhofes nicht mehr über die Abstellkapazität sondern über die Leistungsfähigkeit der Zubringerstrassen definiert. In der Konsequenz unterscheidet sich die Anlagengestaltung des Mobilitätshubs von den heutigen Bahnhöfen.

3.2.1 Funktionale Elemente eines Mobilitätshubs

Mit Mobilitätshubs werden die unterschiedlichen Verkehrsmittel und deren spezifische Vorzüge ideal kombiniert. Die Gestaltungsgrundsätze verfolgen das Ziel, einen möglichst direkten Übergang auf das nächste Verkehrsmittel respektive das nächste Verkehrssystem zu schaffen. Aus Sicht der Orientierung und Routenwahl sollte die Anlage möglichst intuitiv nutzbar sein und im Idealfall mit minimaler Signalisierung auskommen. Gleichzeitig sollte die Anlage belebt, attraktiv und sicher wirken. Die Hubs sollen zudem Möglichkeiten zum Einkauf und Konsum von Dienstleistungen bieten. Auf Basis dieser Grundsätze können folgende funktionalen Elemente (in Anlehnung an Weidmann, 2015) definiert werden:

- Primäre Funktion (Verkehrsstation, Haltepunkt)
 - Gleisanlage
 - Perronanlage für Schienenverkehr
 - Zirkulations- und Wartebereiche
 - Informationspunkte
 - Stellplätze resp. Ausleihstationen Velos resp. eBikes
 - Haltestellen für selbstfahrende Fahrzeuge (Autos, Busse)
 - Landeplätze für Luftverkehr (u.a. Drohnen)
- Sekundäre Funktion (Einkaufs-, Freizeit- und Kulturzentrum)
 - Convenience Stores, Apotheken/Drogerien
 - Restauration
 - Ärztezentren
 - Dienstleistungen zur Körperpflege (u.a. Coiffeur)
 - Hotels
- Tertiäre Funktion (Städtisches Zentrum, Wirtschaftszentrum)
 - Wohnraum
 - Büroflächen (u.a. Co-Working Spaces)
 - Öffentliche Sicherheit (u.a. Polizeiposten)

Die heutigen Verkaufsflächen für Billette und andere Mobilitätsdienstleistungen fallen weg, da gemäss den unterstellten Annahmen das Ticketing über den individuellen und virtuellen Mobilitätsberater abgewickelt wird.

3.2.2 Funktionale Anforderungen eines Mobilitätshubs

Die funktionalen Anforderungen sollen die Elemente der Verkehrsstation (primäre Funktion) noch genauer spezifizieren. Die Anforderungen bilden die Grundlage für die spätere Erarbeitung der Gestaltungsvarianten der Mobilitätshubs. Folgende Punkte werden definiert:

- Der automatisierte Betrieb muss beim ÖV und MIV möglich sein.
- Die Anlagengestaltung muss Betriebsstörungen, welche durch ein Fehlverhalten der Menschen ausgelöst werden, auf ein Minimum reduzieren. Die Fahrbahn des MIV und des ÖV ist konsequent vom Aufenthalts- und Zirkulationsbereich der Reisenden durch Schleusen und Zäune abgegrenzt.
- Die Anlage muss ein hohes Passagieraufkommen bewältigen können.
- Der Transfer zwischen den Verkehrsmitteln erfolgt zu Fuss. Das Umsteigen muss einfach, schnell und bequem sein. Die Distanzen sind so gering wie möglich zu halten. Allfällige Höhendifferenzen können einfach überwunden werden. Es stehen ausreichend Treppen, Rampen und Lifte zur Verfügung.
- Es muss eine konsequente Trennung des ankommenden und abgehenden Verkehrs stattfinden. Die Erschliessung der Gleisanlage erfolgt mit Zwillingsperrons. Dies verbessert die Kundenlenkung. Die Gehwege können für Ein- und Aussteiger klar getrennt werden.
- Der Zugang zu den Schienen- und Strassenfahrzeugen muss ebenerdig erfolgen (Peronhöhe 55 Zentimeter ab Schienenoberkante). Die Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben für Reisende mit eingeschränkter Mobilität ist vollständig sichergestellt.
- Die Stationsgestaltung ist attraktiv (Tageslicht, Mantelnutzung) und die Warte- und Zirkulationsbereiche sind hell und grosszügig.

3.2.3 Kenngrössen für Dimensionierung und Betriebskonzept

Die Kapazitätsgrenze für die individuelle Erschliessung des Mobilitätshubs ist über die Leistungsfähigkeit der Zubringerstrassen definiert. Für das mathematische Modell ist die Zubringerleistung einer Strasse mit je einem resp. zwei Fahrstreifen pro Richtung berechnet worden.

Tabelle 6 Zubringerleistung auf der Strasse

	Strasse mit einem Fahrstreifen pro Richtung	Strasse mit zwei Fahrstreifen pro Richtung
Kapazität (je Fahrstreifen) [Fz/h]	1800	3600
Belegungsgrad [Pers/Fz]	1.6	1.6
Zubringerleistung [Pers/h] [Zubringerkapazität*Belegungsgrad]	2880	5760

Quelle: Eigene Darstellung

Das Betriebskonzept sieht den Einsatz autonomer Fahrzeuge vor. Der Fahrgastwechsel erfolgt über Haltebuchten. Die Belegungszeit der Haltebuchten ist nach Belegungsgrad der Fahrzeuge spezifiziert worden. Es wird unterstellt, dass Reisende im Berufs- und Ausbildungsverkehr eher alleine und mit wenig Gepäck unterwegs sind. Daher kann in diesen Fällen eine relativ kurze Fahrgastwechselzeit hinterlegt werden. Im Freizeitverkehr steigt die Anzahl Personen pro Fahrzeug. In diesen Fällen ist auch vielfach mehr Gepäck vorhanden. Somit muss in diesen Situationen eine längere Fahrgastwechselzeit eingeplant werden.

Tabelle 7 Durchschnittliche Belegungszeit der Haltebucht in Mobilitätshubs

Anzahl Personen pro Fahrzeug	1.6	1	2	3	4
Annäherungszeit [s] trockene Fahrbahn, Geschwindigkeit 30 km/h, Bremsweg: 9 m	2	2	2	2	2
Türöffnungszeit [s] Schiebetür mit 900mm Türbreite, inkl. allfälligem Schiebetritt	8	8	8	8	8
Fahrgastwechselzeit [s]	37	14	52	89	127
Türschliesszeit [s] Schiebetür mit 900mm Türbreite, inkl. allfälligem Schiebetritt	8	8	8	8	8
Freilegungszeit [s] 5m zurücksetzen, 5m vorziehen bis Haltebucht frei für nächste Nutzung	5	5	5	5	5
Belegungszeit der Haltebucht [s]	60	37	75	112	150

Quelle: Eigene Darstellung

Die Berechnung zeigt, dass die Haltebuchten in den Spitzenverkehrsstunden durchschnittlich für 60 Sekunden belegt sind. Für den effektiven Fahrgastwechsel stehen dann zwischen 30 und 40 Sekunden zur Verfügung. Mit einem optimierten Türöffnungs-/Türschliessprozess kann die Fahrgastwechselzeit um rund zehn Sekunden erhöht werden. Verfügt die Zubringerstrasse über eine Kapazität von 1800 Fahrzeugen pro Stunde, benötigt man somit mindestens 30 Haltebuchten. Bei einer stündlichen Kapazität von 3600 Fahrzeugen sind es 60.

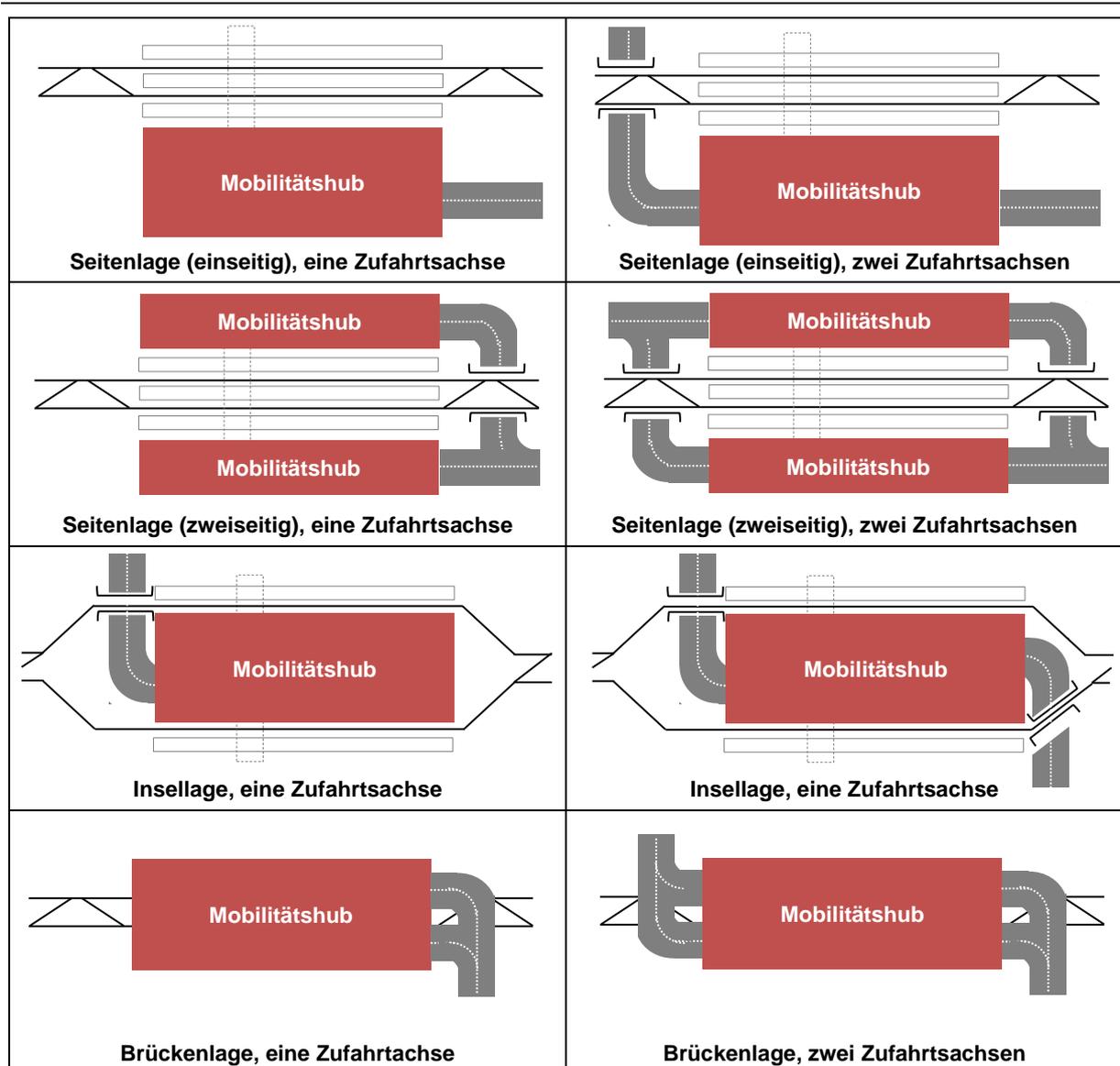
3.3 Layout von Mobilitätshub

3.3.1 Gestaltungsvarianten

Für die Mobilitätshubs sind acht Gestaltungsvarianten evaluiert worden. Bei der ein- und zweiseitigen Seitenlage und der Insellage ist der erforderliche Platzbedarf hoch und die resultierenden Fusswege lang. Zudem lässt sich eine Überdachung der Zirkulations- und Wartebereiche nur mit hohen Kosten realisieren. Eine konsequente Trennung der Zirkulations-, Warte- und Umsteigzonen zwischen dem LV, MIV und ÖV lässt sich nicht konsequent umsetzen.

Die funktionalen Anforderungen lassen sich am besten mit einem Mobilitätshub in Brückenlage realisieren. Die Schieneninfrastruktur befindet sich in Tieflage. Der Hub ist direkt über der Perronanlage angeordnet und lässt einen direkten Zugang von den Perrons zu den verschiedenen Umsteige- und Wartezonen zu. Ein vollständiger Witterungsschutz ist möglich und die Gehdistanzen können auf ein Minimum reduziert werden.

Abbildung 11 Gestaltungsvarianten für Mobilitätshub



Quelle: Eigene Darstellung

3.3.2 Topologie und Betriebskonzept

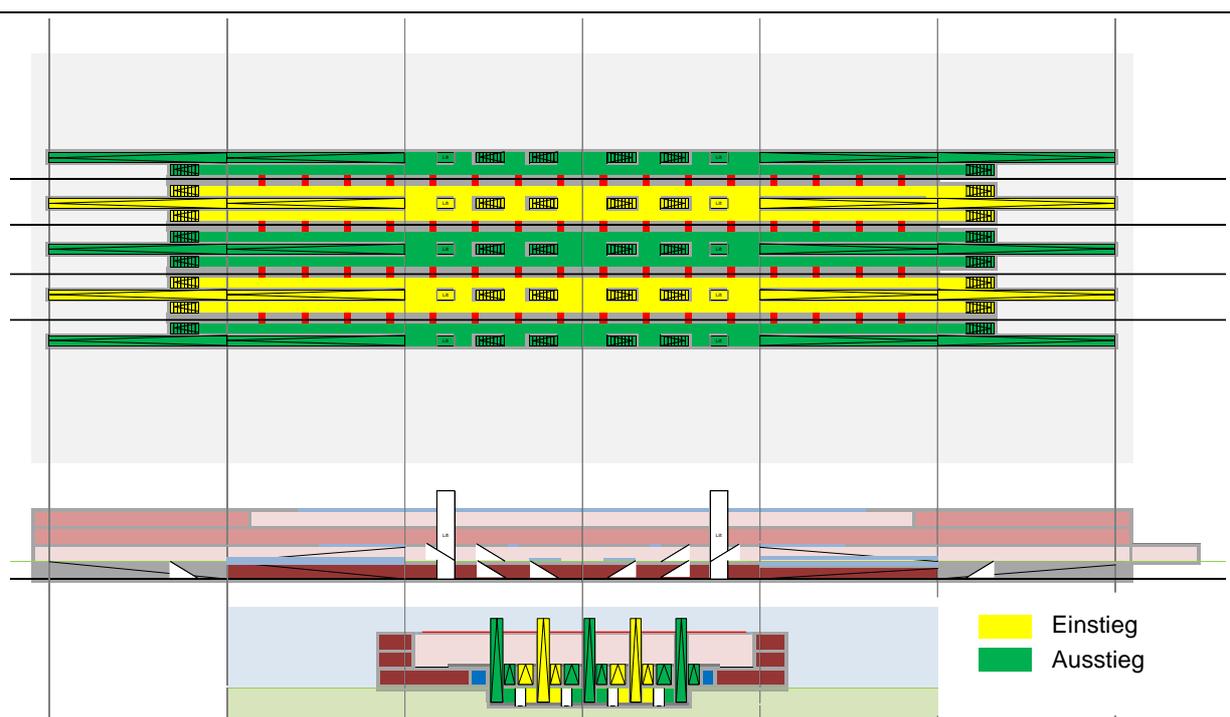
Durch die Brückenlage kann die Anbindung der verschiedenen Verkehrssysteme und -mittel an die Bahn über verschiedene Stationsebenen erfolgen. Insgesamt sind im Mobilitätshub vier

Ebenen vorgesehen. Die Ebenen sind mittels Rampen, Treppen (Rolltreppen und Treppen) und Liften miteinander verbunden. Die Zirkulations- und Warteräume der ankommenden und abreisenden Personen sind konsequent voneinander getrennt. In den folgenden Layouts ist dies farblich gekennzeichnet (Einstieg = gelb, Ausstieg = grün).

Nachfolgend sind die Topologie und das Betriebskonzept eines Mobilitätshubs mit einer stündlichen Kapazität von 3600 Fahrzeugen abgebildet. Der Mobilitätshub verfügt über vier Gleisachsen. Im Anhang ist eine weitere Topologie mit Betriebskonzept für einen Hub mit einer stündlichen Kapazität von 1800 Fahrzeugen und zwei Gleisachsen abgebildet.

Damit der Langsamverkehr über das Erdgeschoss in den Mobilitätshub geführt werden kann, wird die Bahnstrecke in den Untergrund verlegt. Der Gleisbereich ist durch raumhohe transparente Trennelemente mit automatischen Schiebetüren vom Wartebereich abgetrennt. Damit kann der Gefahrenbereich reduziert und der nutzbare Bereich erhöht werden.

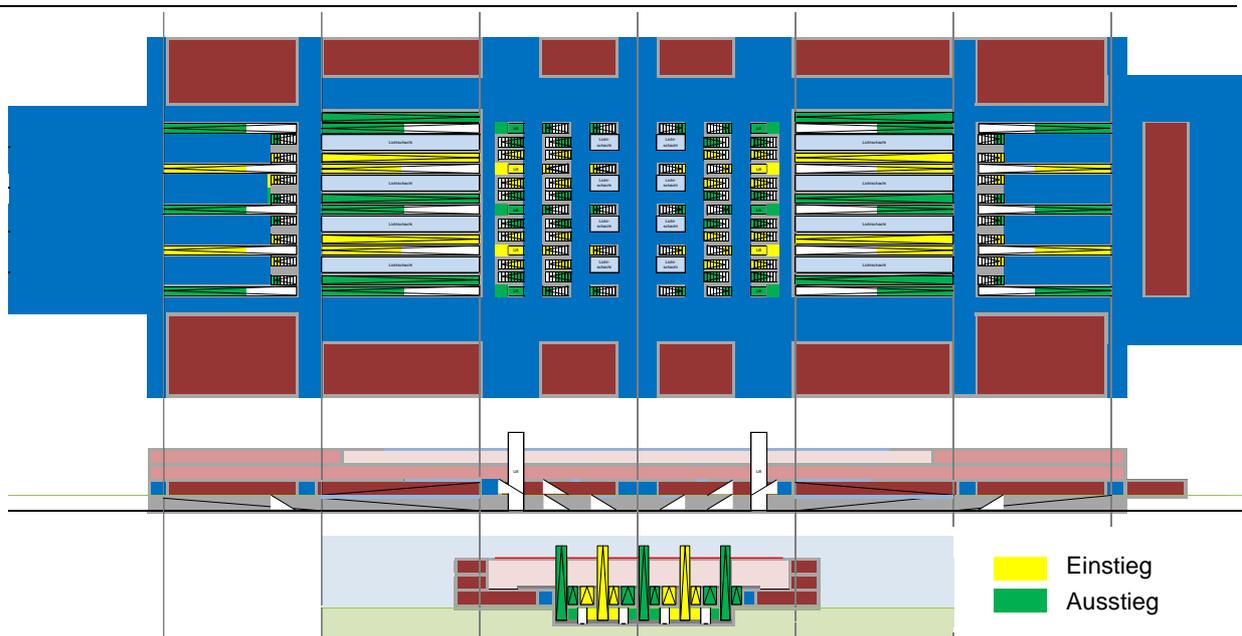
Abbildung 12 Mobilitätshub 3600: Ebene -1 „Schienenverkehr“



Quelle: Eigene Darstellung

Im Erdgeschoss erfolgt die ebenerdige Erschließung des Mobilitätshubs mit dem Langsamverkehr. Fussgänger können durch mehrere Erschließungsachsen in den Hub eintreten oder diesen passieren. Für Velos/e-Bikes stehen im Gebäude Stellplätze resp. Ausleihstationen zur Verfügung. In den dunkelrot eingefärbten Bereichen ist eine Mantelnutzung mit Convenience Stores, Co-Working Spaces, Restauration, Ärztezentren, Hotels oder Wohnungen möglich.

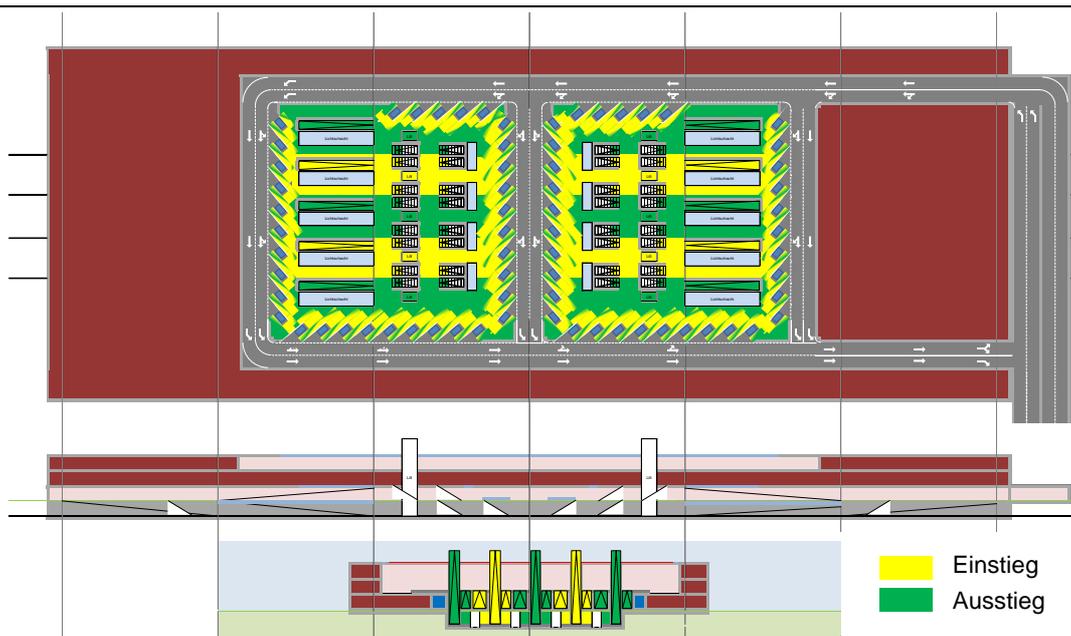
Abbildung 13 Mobilitätshub 3600: Ebene 0, „Langsamverkehr“



Quelle: Eigene Darstellung

Der Strassenverkehr wird in der ersten Etage abgewickelt. Der Aufenthalt der Fahrzeuge beschränkt sich auf das Ein- und Aussteigen der Reisenden. Die Fahrzeuge sind von beiden Seiten zugänglich. Die Verkehrswege von Fussgängern und Autos sind strikte getrennt. In einem weiteren Schritt könnten auch Haltebuchten für kollektive Transporte (autonome Busse) in das Layout integriert werden.

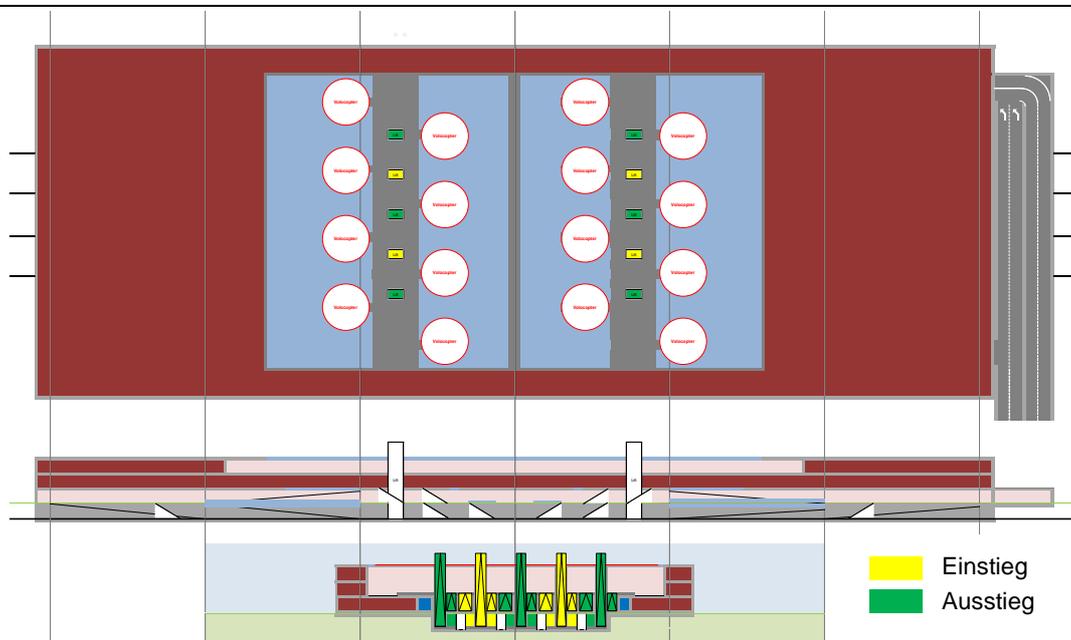
Abbildung 14 Mobilitätshub 3600: Ebene 1, „motorisierter Individualverkehr“



Quelle: Eigene Darstellung

Auf dem Dach des Mobilitätshubs können Landeplätze für Volocopter oder Drohnen vorgesehen werden. Die Reisenden gelangen über Lifte direkt auf den Perron.

Abbildung 15 Mobilitätshub 3600: Ebene 2, Option „Luftverkehr“



Quelle: Eigene Darstellung

3.4 Mathematisches Modell für Dimensionierung Mobilitätshub

Gemäss den berechneten Werten im Kapitel 3.2.3 beträgt die stündliche Zubringerleistung 2880 oder 5760 Personen. Angelehnt an die Formel zur Berechnung der Bemessungsnachfrage (Weidmann, 2011) wird für die Bestimmung der Kapazitätsgrenze von Mobilitätshubs folgende Formel verwendet:

$$DWV = \frac{SZL}{0.5 * f_{Stunde} * (1 + f_{Streuung} * f_{Spitze})}$$

Wobei:

- DWV = durchschnittlicher Wochentagsverkehr (P)
- SZL = stündliche Zubringerleistung
- f_{Stunde} = Faktor der betreffenden Tagesstunde (-)
- $f_{Streuung}$ = Standardabweichung bezogen auf Mittelwert (-)
- f_{Spitze} = Spitzenfaktor beziehungsweise Faktor der Standardabweichung (-)

Als Werte werden angenommen (Weidmann, 2011):

$f_{\text{HVZ-Stunde}}$	= 0.22 (S-Bahn/Regionalbahn, Fahrt zum Zentrum)
$f_{\text{NVZ-Stunde}}$	= 0.06 (S-Bahn/Regionalbahn, Fahrt aus Zentrum)
f_{Streuung}	= 0.25
f_{Spitze}	= 1.5

Ein Mobilitätshub kann ausschliesslich mit selbstfahrenden Autos bedient werden, wenn er an einem durchschnittlichen Werktag eine Nutzungsfrequenz von 19'041 bis 38'082 Personen verzeichnet. Da bei den bestehenden Betriebspunkten der SBB der DWV für das Jahr 2014 bekannt ist, ist die Formel wie folgt umgestellt worden:

$$\begin{aligned} \text{SZL} = & f_{\text{Pendler}} * (0.5 * \text{DWV} * f_{\text{Stunde}} * (1 + f_{\text{Streuung}} * f_{\text{Spitze}})) \\ & + (1 - f_{\text{Pendler}}) * (\text{DWV} * f_{\text{Stunde}} * (1 + f_{\text{Streuung}} * f_{\text{Spitze}})) \end{aligned}$$

In der Formel ist der angenommene Pendleranteil (f_{Pendler}) von 80 Prozent berücksichtigt. Dieser Prozentsatz entspricht jenem Wert, welcher im Verkehrsmodell des Kantons Bern als Pendleranteil hinterlegt ist.

Um die erforderliche Zubringerleistung pro Stunde für das in der Fallstudie untersuchte Jahr 2050 zu erhalten, werden die Werte des durchschnittlichen Werktagverkehrs vom Jahr 2014 mit einem Wachstumsfaktor multipliziert.

4 Fallstudie

In der Fallstudie soll anhand des mathematischen Modells die Anzahl an Mobilitätshubs im Raum Zürich–Ostschweiz festgelegt werden. Das Untersuchungsgebiet beinhaltet die gewünschten charakteristischen Unterschiede und Eigenschaften bei der Siedlungsstruktur. Der Grossraum Zürich zeichnet sich durch Urbanität aus. Das Appenzellerland sowie Teile des Kantons Thurgau und St. Gallen repräsentieren ländliche Regionen mit entsprechender Siedlungsstruktur. Insbesondere diese Gebiete ermöglichen die Plausibilisierung der Modelle.

In einem ersten Schritt erfolgt nun die Dokumentation der Annahmen zur Verkehrsnachfrage 2050, zum Individual- und öffentlichen Verkehr 2050. Es handelt sich um eigenständige Annahmen, welche für die nachfolgende Fallstudie getroffen worden sind und teilweise auf den analysierten Sachverhalten im zweiten Kapitel basieren. Auf diesen Grundlagen wird im Anschluss die Anzahl an erforderlichen Mobilitätshubs im Raum Zürich–Ostschweiz berechnet. Anhand dieser Resultate wird ein Schienenverkehrskonzept entwickelt. Dieses soll die Verkehrsabwicklung zwischen den Mobilitätshubs auf der Schiene sicherstellen.

4.1 Annahmen zur Verkehrsnachfrage 2050

Basierend auf einer Studie vom Bundesamt für Raumentwicklung (Justen et al., 2016) wird für die Fallstudie ein Wachstum von 25 Prozent bis ins Jahr 2050 unterstellt. Die Auslöser des Anstieges sind die Flexibilisierung auf dem Arbeitsmarkt und eine höhere Gewichtung der Freizeitaktivitäten. Im Übrigen wird das Mobilitätsangebot weiter ausgebaut. Der Wohlstand bleibt auf einem international sehr hohen Niveau. Die steigende Lebenserwartung und Verbesserungen im Gesundheitswesen sorgen ausserdem dafür, dass die Fortführung der Lebens- und Mobilitätsstile bis ins hohe Alter ermöglicht werden. Die Urbanisierung ist weit fortgeschritten. Drei Viertel der Schweizer Bevölkerung (Schätzung: neun bis elf Millionen Personen) leben in einer Stadt. In Agglomerationen und Städten wird die Mobilität mehrheitlich durch den ÖV und den LV sichergestellt. Es wird angenommen, dass der LV in städtischen Gebieten einen Marktanteil von bis zu 20 Prozent erreichen kann. In ländlichen Gebieten wird der regionale Verkehr mit dem LV und dem MIV gewährleistet. Im überregionalen Verkehr erbringen der LV und der MIV die Zubringerleistung und der ÖV die Anbindung an die Zentren und Städte. Die Mobilität wird integrierter und vernetzter. Die Planung erfolgt nicht mehr in singulären Systemen, sondern in vernetzten Mobilitätssystemen. Im Fokus steht der schnelle, sichere, verlässliche, komfortable und preiswerte Transport über die gesamte Reisekette.

Die Mobilität ist auch im Jahr 2050 für die Schweizer Gesellschaft von grosser Bedeutung. Der Anteil der mobilen Personen bleibt unverändert bei 89 Prozent. Der Führerscheinbesitz ist für die Sicherstellung der individuellen Mobilität nicht mehr relevant, da gemäss Annahme alle Fahrzeuge autonom verkehren. Die Fahrzeugverfügbarkeit ist jederzeit und an jedem Ort mit einer angenommenen Wartezeit von zehn Minuten (Median: fünf Minuten) sichergestellt. Die Verfügbarkeitsquote beträgt 100 Prozent. Der private Autobesitz beschränkt sich auf einen tiefen Prozentsatz. Privatpersonen streben noch aufgrund der isolierten Wohnlage oder aus Statusgründen den Fahrzeugbesitz an. Ansonsten sind die Besitzer Genossenschaften oder private Unternehmen. Auf dem Land hat sich das stationsbasierte System durchgesetzt. Die Autos werden zentral vorgehalten und können innert Minuten angefordert werden. Das Free-Floating-System kommt in urbanen Gebieten aufgrund der erhöhten Nachfrage zum Einsatz.

Die Reisenden haben dank der individualisierten virtuellen Mobilitätsberater jederzeit die Kenntnis über die Kosten und den Wert ihrer Mobilität. Sie entscheiden situativ, nach rationalen Kriterien und persönlichen Präferenzen. Sämtliche Altersgruppen sind multimodal unterwegs. Zusätzlich zum Mobilitätsberater besitzt jede Person ein Mobilitätsabonnement. Dieses ermöglicht die individuelle oder kollektive Nutzung des LV, MIV und ÖV auf der Strasse und auf der Schiene. Die Nutzungsgebühr wird über ein Post-Pay-System abgewickelt. Mit dem Nutzungsende einer Transportleistung wird dem Kunden der günstigste Tarif verrechnet.

Desweiteren wird unterstellt, dass die mittlere Tagesdistanz, die mittlere Unterwegszeit und die mittlere Anzahl an Etappen, Wegen und Ausgängen auf dem Niveau vom Jahr 2015 verbleiben. Im Durchschnitt legt somit jede Person im Jahr 2050 täglich rund 40 Kilometer im Inland zurück. Hauptauslöser des Verkehrs bleibt die Freizeit (rund 50%), gefolgt von den Arbeitswegen (rund 25%). Die Eisenbahn wird weiterhin in stärkerem Masse für Arbeits- und Ausbildungswege genutzt (50% der Distanzen). Das Auto dominiert beim Freizeitverkehr.

4.2 Annahmen zum Individualverkehr 2050

Aufgrund der Energieziele werden hohe Abgaben auf dem individuellen motorisierten Verkehr erhoben. Dies führt dazu, dass die Bereitschaft zum Ride-Sharing markant zugenommen wird. Das Mobility Pricing wird jedoch aus politischen Überlegungen nur im dichtbesiedelten Raum konsequent umgesetzt. Für die Fallstudie wird daher eine defensive Nutzungsquote pro Fahrzeug angenommen. Der unterstellte Wert ist 1.6 Personen pro Fahrzeug. Dies entspricht ungefähr der aktuellen Nutzungsquote. Die angenommene Grösse des autonomen Fahrzeuges ist vergleichbar mit aktuellen Kleinwagen, welche für vier Personen einen Sitzplatz bieten. Der Kleinwagen ist mit Elektrizität angetrieben.

Dank der autonomen Betriebskonzepte kann die Kapazität der Strasse gesteigert werden. Die Staubildung bleibt in Städten aber dennoch ein Problem. Da die Fahrzeuge im Raum zirkulieren oder ausserhalb der Zentren abgestellt werden, verschwindet die Parkplatzproblematik in dicht besiedelten Gebieten. In der Fallstudie wird aufgrund des langen Prognosehorizontes und der noch nicht abschliessend beurteilbaren Entwicklung der Technik mit den aktuellen Kapazitätsgrenzwerten auf den Strassen gerechnet.

Die physikalischen Eigenschaften im Strassenverkehr sind vergleichbar mit den heutigen Bedingungen. Die Insassen eines autonomen Fahrzeuges, Kinder und allfällige Gegenstände müssen sich aufgrund der hohen Fliehkräfte bei Bremsmanövern mit Gurten sichern. Das Arbeiten in den autonomen Autos ist aufgrund der engen Abfolge an horizontalen und vertikalen Richtungswechseln (v.a. in städtischen Gebieten) nur bedingt möglich.

4.3 Annahmen zum öffentlichen Schienenverkehr 2050

Das Angebot im Schienenverkehr ist konsequent standardisiert. Es fokussiert sich auf Räume, in welchen eine sinnvolle Bündelung der Transportnachfrage von Personen und Gütern möglich ist. Diese Eigenschaft trifft primär auf die heutigen Hauptachsen zu. Entweder fehlt auf diesen Strecken ein wettbewerbsfähiges Angebot auf der Strasse oder der Strassenverkehr ist durch Stau- und (Park-)Platzproblematik beeinträchtigt. Die Bedienpunkte im reduzierten Schienennetz beschränken sich auf ein Minimum. Durch die Reduktion der Haltepunkte soll die Umlaufgeschwindigkeit im Gesamtsystem Schiene erhöht werden.

Im Personenverkehr stellt der Fernverkehr das nationale Verkehrsangebot sicher. Im Fernverkehr liegen die Haltepunkte zwischen 15 und 30 Minuten auseinander. Der RegioExpress-Verkehr wird in grossen Agglomerationen mit zusätzlichen Bedienpunkten angeboten. Der Halteabstand beträgt in diesem Verkehrsegment fünf bis zehn Minuten. Die strassenseitige Anbindung der Halteorte erfolgt über maximal zwei Achsen mit je einem Fahrstreifen pro Richtung. Die Fahrstreifen der autonomen Autos sind aufgrund der hohen Verkehrsdichte konsequent vom Langsamverkehr zu trennen. Die Querungen des LV erfolgen niveaufrei.

Der Personenverkehr verkehrt im 10-Minuten-Takt. Auf Sammelkorridoren verdichtet sich die Taktfolge auf fünf resp. auf bis zu zwei Minuten. Somit nähert sich das Angebotskonzept einem Tram oder einer Metro an. Der autonome Schienenverkehr ist weiterhin mit einem genau definierten Fahrplan organisiert. Eine Eigenorganisation des Bahnsystems ist weiterhin nicht möglich. Im Gegensatz zu heute beschränkt sich der Nutzen des Fahrplans jedoch auf die Abbildung des Betriebskonzeptes. Der Fahrplan wird nicht mehr als Kommunikationsmittel gegenüber den Kunden verwendet. Im Fahrplan ist nur noch eine betriebliche Reserve von

drei Prozent zur technischen Fahrzeit berücksichtigt. Baureserven existieren nicht mehr. Bei Baustellen mit Langsamfahrstellen oder Einspurabschnitten verlängert sich die Fahrzeit. Das Knotenprinzip ist mit der hohen Taktdichte nicht mehr relevant. Somit müssen die ursprünglichen Ankunftszeiten für die Anschlussvermittlung nicht mehr zwingend eingehalten werden.

Die hohe Taktdichte ermöglicht kurze Wendezeiten. Unproduktive Standzeiten beim Rollmaterial sollen dadurch reduziert werden. Die Höchstgeschwindigkeit des Rollmaterials ist auf 160 km/h begrenzt. Dadurch sollen der Energieverbrauch sowie die Beschaffungs- und Instandhaltungskosten reduziert werden. Die Flotte ist technisch standardisiert und ermöglicht einen homogenen Fahrzeugeinsatz. Die Infrastruktur erlaubt sowohl den Einsatz von doppelstöckigen wie einstöckigen Fahrzeugen. Die Fahrzeuge sind 100 Meter lang und lassen sich zu 200 Meter langen Kompositionen kombinieren. Das Fahrzeuglayout lässt einen raschen Fahrgastwechsel zu. Die Haltezeiten betragen im Fernverkehr durchschnittlich eineinhalb Minuten und im RegioExpress-Verkehr eine Minute. Die zusätzlich berücksichtigten Prozesszeiten für die Türöffnung, -schliessung und die Schiebetritte betragen jeweils eine halbe Minute pro Halt.

Nebst dem Personenverkehr verkehren weiterhin auch Güterzüge zwischen Logistikhubs. Die Züge fahren gegenüber heute regelmässiger und häufiger, sind jedoch weniger lang und schwer (Annahme: 400 Meter, 800 Tonnen). Eine Positionierung der Logistikhubs und eine detaillierte Ausplanung des Güterverkehrsnetzwerks ist nicht Bestandteil der Fallstudie. Im Betriebskonzept sind ausschliesslich mögliche Zeitslots für den Güterverkehr eingeplant.

Sämtliche Schienenfahrzeuge verkehren autonom (ohne Personal im Führerstand und Passagierbereich). Je nach angestrebter Servicequalität werden im Personenverkehr Zugsbegleiter eingesetzt. Sie haben jedoch keine betrieblichen Aufgaben mehr.

Die Verkehrsinfrastruktur und das Bahnangebot werden anhand der erwarteten Verkehrsnachfrage geplant und dimensioniert. Die effektive Nachfrage hat nur bedingt einen Einfluss. Es gibt weiterhin keinen Bedarfsverkehr. Die Züge verkehren im Linksbetrieb. Die Anzahl an Spurwechsel beschränkt sich auf das betriebliche Minimum. Spurwechsel in der Bahnhofszufahrt ermöglichen eine Anpassung der Regelgleisnutzung im Bahnhof.

Infrastrukturseitig bildet das Konzept für den Angebotsschritt 2030 (12 Milliarden, Arbeitsstand: März 2017) die Grundlage. Der Brüttener-Tunnel, der Zimmerberg II-Tunnel und das vierte Gleis in Stadelhofen gelten als umgesetzt. Zudem ist auf allen Strecken eine durchgängige Doppelspur vorhanden. Die Konfliktpunkte vor den Knoten und auf den Strecken sind niveaufrei entflochten. Es wird angenommen, dass mit einem modernen Zugüberwachungs- und Zugbeeinflussungssystem eine netzweite einheitliche Zugfolgezeit von zwei Minuten

(technisch 100 Sekunden) realisiert ist. Die nicht mehr genutzte Bahninfrastruktur (Bahnhöfe und Strecken) auf Nebenstrecken ist konsequent zurückgebaut worden. In der Fallstudie wird ein zentralisiertes Schienenverkehrsnetz (Hub-Speichen-Netzwerk) mit einem feinmaschigen zentrifugalen Zubringernetz auf der Strasse (komplettes Netzwerk) kombiniert. Das Verkehrsangebot auf der Strasse und der Schiene konvergiert in den jeweiligen Eigenschaften. Obwohl die physischen Systemgrenzen bestehen bleiben, rücken die beiden Verkehrssysteme näher aneinander. Durch die höhere Taktdichte auf dem Hauptnetz nähert sich der Fern- und RegioExpress-Verkehr den Eigenschaften eines Autos an, welches ohne grosse Wartezeit verfügbar ist. Durch die virtuelle Verschmelzung werden die Verkehrssysteme in der Kundenwahrnehmung als durchgängige Mobilitätsangebote wahrgenommen.

4.4 Festlegung der erforderlichen Mobilitätshubs

Auf Basis der Kenngrößen für die Dimensionierung eines Mobilitätshubs (vgl. Kapitel 3.2.3) und des mathematischen Modells (vgl. Kapitel 3.4) ist der durchschnittliche Werktagsverkehr (DWV) im Untersuchungsgebiet analysiert worden. Wie bereits erwähnt, kann ein Mobilitätshub ausschliesslich mit selbstfahrenden Autos bedient werden, wenn er an einem durchschnittlichen Werktag eine maximale Nutzungsfrequenz von rund 20'000 Personen ausweist. Dies entspricht in der Hauptverkehrszeit einem Stundenwert von 2'880 Personen.

Von den aktuellen 267 Betriebsstellen der SBB im Raum Zürich-Ostschweiz erreichen gemäss Annahme für das Jahr 2050 nur 26 einen DWV, der diese Nutzungsgrenze überschreitet (vgl. Tabelle 8). Diese Standorte verfügen über das Potential sich zu einem Mobilitätshub zu entwickeln. Weitere 26 Standorte können aufgrund ihrer geographischen Lage die Nutzungsgrenze erreichen, wenn der Verkehr von wegfallenden Bahnhöfen über diese Betriebspunkte abgewickelt wird. Die restlichen rund 200 Betriebspunkte verfügen entweder über zu wenig Nachfrage oder profitieren nicht von wegfallenden Betriebspunkten. Sie werden für die folgenden Arbeitsschritte „geschlossen“. In der Fallstudie wird vereinfacht angenommen, dass die Verkehrsnachfrage im Schienenverkehr trotz der Schliessung von Betriebspunkten unverändert bleibt und sich die Nachfrage der „geschlossenen“ Stationen neu verteilt. Sie wird jeweils dem Mobilitätshub zugeteilt, welcher gemäss Streckenverlauf näher am Betriebspunkt Zürich liegt. In der Tabelle 9 sind die aktuellen Betriebspunkte aufgeführt, welche im späteren Schienenverkehrskonzept nicht mehr berücksichtigt werden. Zudem ist die Zuteilung zum jeweiligen Mobilitätshub ersichtlich. Die regionale Zubringerleistung zu den Mobilitätshubs erfolgt ausschliesslich mit autonomen Fahrzeugen. Somit wird bei der späteren Zuteilung der DWV der wegfallenden Betriebspunkte zum Mobilitätshub kein prozentualer Abzug für LV oder ÖV (autonome Busse/Trams) gemacht.

Tabelle 8 Herleitung des durchschnittlichen Werktagverkehrs 2050

Betriebspunkt	DWV (2014) Tageswert [Pers]	Pendler-Anteil in HVZ [%]	DWV (2014) in HVZ-Stunde [Pers]	DWV (2014) in NVZ-Stunde [Pers]	DWV (2050) in HVZ-Stunde (2014 +25%) [Pers]	DWV (2050) in NVZ-Stunde (2014 +25%)[Pers]
Zürich HB	441'400	80	80'114	21'849	100'143	27'312
Winterthur	105'200	80	19'094	5'207	23'867	6'509
Zürich Oerlikon	84'500	80	15'337	4'183	19'171	5'228
Zürich Stadelhofen	81'100	80	14'720	4'014	18'400	5'018
Zürich Hardbrücke	56'600	80	10'273	2'802	12'841	3'502
St. Gallen	52'900	80	9'601	2'619	12'002	3'273
Zürich Flughafen	25'157	80	4'566	1'245	5'707	1'557
Zürich Altstetten	39'900	80	7'242	1'975	9'052	2'469
Wetzikon	28'300	80	5'136	1'401	6'421	1'751
Chur	24'100	80	4'374	1'193	5'468	1'491
Uster	27'600	80	5'009	1'366	6'262	1'708
Rapperswil	23'600	80	4'283	1'168	5'354	1'460
Stettbach	24'000	80	4'356	1'188	5'445	1'485
Will	22'400	80	4'066	1'109	5'082	1'386
Dietikon	22'700	80	4'120	1'124	5'150	1'405
Thalwil	19'800	80	3'594	980	4'492	1'225
Bülach	20'000	80	3'630	990	4'538	1'238
Schaffhausen	19'200	80	3'485	950	4'356	1'188
Effretikon	19'300	80	3'503	955	4'379	1'194
Wädenswil	18'700	80	3'394	926	4'243	1'157
Weinfelden	17'700	80	3'213	876	4'016	1'095
Pfäffikon SZ	16'100	80	2'922	797	3'653	996
Zürich Enge	16'500	80	2'995	817	3'743	1'021
Frauenfeld	14'400	80	2'614	713	3'267	891
Landquart	12'300	80	2'232	609	2'791	761
Wallisellen	14'500	80	2'632	718	3'290	897
Schwerzenbach ZH	13'600	80	2'468	673	3'086	842
Sargans	12'100	80	2'196	599	2'745	749
Romanshorn	11'500	80	2'087	569	2'609	712
Gossau SG	11'000	80	1'997	545	2'496	681
Schlieren	12'000	80	2'178	594	2'723	743
Rüti ZH	11'200	80	2'033	554	2'541	693
Dübendorf	10'100	80	1'833	500	2'291	625
Ziegelbrücke	9'100	80	1'652	450	2'065	563
Meilen	9'300	80	1'688	460	2'110	575
Oberglatt	8'900	80	1'615	441	2'019	551
Zürich Wiedikon	9'500	80	1'724	470	2'155	588
Affoltern am Albis	8'700	80	1'579	431	1'974	538
Uznach	8'000	80	1'452	396	1'815	495
Stäfa	6'500	80	1'180	322	1'475	402
Oberwinterthur	6'000	80	1'089	297	1'361	371
Rorschach	5'200	80	944	257	1'180	322
Glattbrugg	6'000	80	1'089	297	1'361	371
Zürich Tiefenbrunnen	4'800	80	871	238	1'089	297
Birmensdorf ZH	4'600	80	835	228	1'044	285
Zürich Affoltern	4'100	80	744	203	930	254
Erlenbach ZH	4'200	80	762	208	953	260
Zürich Wipkingen	3'800	80	690	188	862	235
Winterthur Seen	3'400	80	617	168	771	210
Hinwil	3'200	80	581	158	726	198
St. Margrethen	2'800	80	508	139	635	173
Zürich Wollishofen	2'700	80	490	134	613	167

Tabelle 9 Einzugsgebiet der Mobilitätshubs (Verkehrsstrom Zürich)

Mobilitätshub	Ersatz für folgende bisherigen Betriebspunkte
Affoltern am Albis	Affoltern am Albis, Mettmenstetten, Knonau
Birmensdorf ZH	Birmensdorf ZH, Bonstetten-Wettswil, Hedingen
Bülach	Bülach, Embrach-Rorbas, Rafz, Eglisau, Hüntwangen-Wil, Glattfelden, Jestetten, Kaiserstuhl AG, Lottstetten, Rekingen AG, Zweidlen, Mellikon, Rümikon AG
Chur	Chur
Dietikon	Dietikon, Killwangen-Spreitenbach, Würenlos
Dübendorf	Dübendorf
Effretikon	Effretikon, Fehraltorf, Illnau, Turbenthal, Kempthal, Rämismühle-Zell
Erlenbach ZH	Erlenbach ZH, Herrliberg-Feldmeilen und Winkel am Zürichsee
Frauenfeld	Frauenfeld, Kreuzlingen, Stein am Rhein, Kreuzlingen Hafen, Steckborn, Ermatingen, Tägerwil-Gottlieben, Müllheim-Wigoltingen, Münsterlingen Spital, Felben-Wellhausen, Märstetten, Münsterlingen-Scherzingen, Berlingen, Mammern, Kreuzlingen Bernrain, Tägerwil Dorf, Eschenz, Landschlacht, Bottighofen, Lengwil, Mannenbach-Salenstein, Hüttlingen-Mettendorf, Siegershausen, Triboltingen
Glattbrugg	Glattbrugg, Rümilang, Opfikon
Gossau SG	Gossau SG, Flawil, Hauptwil, Arnegg
Hinwil	Hinwil, Bubikon, Bauma, Wila, Saland, Steg
Landquart	Landquart
Meilen	Meilen, Männedorf, Uetikon
Oberglatt	Oberglatt, Dielsdorf, Niederhasli, Niederglatt, Schöffliisdorf-Oberweningen, Steinmaur, Niederweningen, Niederweningen Dorf
Oberwinterthur	Oberwinterthur, Andelfingen, Seuzach, Marthalen, Henggart, Winterthur Wallrüti, Rickenbach-Attikon, Diessenhofen, Islikon, Wiesendangen, Hettlingen, Stammheim, Ossingen, Reutlingen, Schlattingen, Etwilen, St. Katharinental, Dinhard, Thalheim-Altikon
Pfäffikon SZ	Pfäffikon SZ, Lachen, Siebnen-Wangen, Altendorf, Freienbach SBB, Schübelbach-Buttikon
Rapperswil	Rapperswil, Jona, Kempraten, Blumenau
Romanshorn	Romanshorn, Arbon, Uttwil, Altnau, Güttingen, Egnach, Kesswil
Rorschach	Rorschach, Rorschach Stadt, Rheineck, Rorschach Hafen, Staad, Horn, Steinach
Rüti ZH	Rüti ZH, Wald, Gibswil, Tann-Dürnten, Fischenthal
Sargans	Sargans, Buchs SG, Bad Ragaz, Maienfeld, Flums
Schaffhausen	Schaffhausen, Neuhausen, Dachsen, Schloss Laufen am Rheinflall, Feuerthalen, Schlatt, Langwiesen
Schlieren	Schlieren, Glanzenberg, Urdorf, Urdorf Weihermatt
Schwerzenbach ZH	Schwerzenbach ZH, Nänikon-Greifensee
St. Gallen	St. Gallen, St. Gallen St. Fiden, Goldach, St. Gallen Winkeln, Mörschwil, St. Gallen Bruggen
St. Margrethen	St. Margrethen, Heerbrugg, Altstätten SG, Au SG, Rebstein-Marbach
Stäfa	Stäfa, Uerikon, Feldbach
Stettbach	Stettbach
Thalwil	Thalwil, Horgen, Horgen Oberdorf, Oberrieden Dorf, Au ZH, Oberrieden
Uster	Uster, Pfäffikon ZH, Aathal
Uznach	Uznach, Schmerikon, Reichenburg, Benken, Wattwil
Wädenswil	Wädenswil, Richterswil, Bäch
Wallisellen	Wallisellen, Dietlikon, Bassersdorf
Weinfelden	Weinfelden, Amriswil, Sulgen, Bischofszell Stadt, Bürglen, Erlen, Kradolf, Bussnang, Berg, Tobel-Affeltrangen, Märwil, Bischofszell Nord, Kehlhof, Sitterdorf, Oberaach, Oppikon
Wetzikon	Wetzikon, Kempton
Wil SG	Wil SG, Uzwil, Bütschwil, Bazenhaid, Dietfurt, Bettwiesen, Lütisburg, Bronschhofen, Bronschhofen AMP, Tägerschen
Winterthur	Winterthur, Aadorf, Winterthur Grüze, Elgg, Pfungen-Neftenbach, Eschlikon, Sirnach, Winterthur Töss, Räterschen, Winterthur Wülflingen, Winterthur Hegi, Schottikon, Guntershausen
Winterthur Seen	Winterthur Seen, Kollbrunn, Rikon, Sennhof-Kyburg
Ziegelbrücke	Ziegelbrücke, Näfels-Mollis, Walenstadt, Schwanden, Netstal, Schänis, Nieder- und Oberurnen, Luchsingen-Hätzingen, Unterterzen, Linthal, Glarus, Bilten, Mitlödi, Linthal Braunwaldbahn, Rüti GL, Nidfurn-Haslen, Diesbach-Betschwanden, Leuggelbach
Zürich Affoltern	Zürich Affoltern, Regensdorf-Watt, Buchs-Dällikon, Otelfingen, Otelfingen Rietholz
Zürich Altstetten	Zürich Altstetten
Zürich Enge	Zürich Enge
Zürich Flughafen	Zürich Flughafen, Kloten, Kloten Balsberg
Zürich Hardbrücke	Zürich Hardbrücke
Zürich HB	Zürich HB
Zürich Oerlikon	Zürich Oerlikon, Zürich Seebach
Zürich Stadelhofen	Zürich Stadelhofen
Zürich Tiefenbrunnen	Zürich Tiefenbrunnen, Zollikon
Zürich Wiedikon	Zürich Wiedikon
Zürich Wipkingen	Zürich Wipkingen
Zürich Wollishofen	Zürich Wollishofen, Rüslikon, Kilchberg

Im Verkehrsmodell 2050 (vgl. Kapitel 4.1) wird unterstellt, dass zwischen zehn bis zwanzig Prozent der Reisenden den Weg zum Mobilitätshub mit Mitteln des Langsamverkehrs (zu Fuss, Velo, E-Bike) zurücklegen. Diese Prozentwerte sind auch in der weiteren Untersuchung der 52 möglichen Standorte für Mobilitätshubs berücksichtigt worden. In der Tabelle 11 ist die Herleitung des erforderlichen Soll-Anteils an Langsamverkehr dokumentiert.

Bei einzelnen Betriebspunkten erfordert die Verkehrsnachfrage auch im Zeitalter von autonomen Autos die gebündelte Zubringerleistung mit autonomen Trams oder Bussen. In der Tabelle 10 sind die dreizehn Betriebspunkte ausgewiesen, welche einen Anteil an gebündelter Zubringerleistung erfordern. Bei zwölf Betriebspunkten übersteigt die Verkehrsnachfrage die Möglichkeiten der beiden Zubringerachsen mit je einem Fahrstreifen pro Richtung. Im Fall von Zürich Wipkingen wird angenommen, dass aufgrund der Lage im Stadtzentrum ein alternatives Mobilitätshubkonzept mit einem höheren Anteil an LV und autonomen Bussen resp. Trams realisiert wird.

Tabelle 10 Zubringerleistung: Herleitung des Soll-Anteils an Kollektivreisenden

Betriebspunkt	DWV (2050) in HVZ-Stunde (2014 +25%) [Pers]	DWV (2050) in HVZ-Stunde (2014 +25%) [Pers]	autonome Busse/Tram (ÖV) Soll-Modalsplit [%]	Kollektivreisende ÖV in HVZ-Stunde Soll Wert [Pers]	Kollektivreisende ÖV in NVZ-Stunde Soll Wert [Pers]
Zürich HB	100'143	27'312	75	75'107	20'484
Winterthur	23'867	6'509	70	16'707	4'556
Zürich Oerlikon	19'171	5'228	60	11'503	3'137
Zürich Stadelhofen	18'400	5'018	50	9'200	2'509
Zürich Hardbrücke	12'841	3'502	40	5'136	1'401
St. Gallen	12'002	3'273	40	4'801	1'309
Zürich Flughafen	5'707	1'557	20	1'141	311
Zürich Altstetten	9'052	2'469	20	1'810	494
Uster	6'262	1'708	20	1'252	342
Rapperswil	5'354	1'460	20	1'071	292
Will	5'082	1'386	20	1'016	277
Thalwil	3'594	980	20	898	245
Zürich Wipkingen	862	235	60	517	141

Die verschiedenen Einflussgrößen (Anteil LV und ÖV, zusätzliche Individualreisende durch wegfallende Betriebspunkte) sind in die Berechnung der erforderlichen Fahrten mit autonomen Autos (MIV) berücksichtigt worden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 12 ersichtlich.

Die Tabellen 13-15 fassen die Zubringerleistungen nach Verkehrsmodi und die resultierenden Modalsplits in den HVZ- und NVZ-Stunden pro Mobilitätshub zusammen. Zudem ist die Kategorisierung der Mobilitätshubs und deren Auslastung ersichtlich.

Tabelle 11 Zubringerleistung: Herleitung des Soll-Anteils an Langsamverkehr

Betriebspunkt	DWV (2050) in HVZ-Stunde (2014 +25%) [Pers]	DWV (2050) in NVZ-Stunde (2014 +25%) [Pers]	Langsamverkehr Soll-Modalsplit [%]	Langsamverkehr HVZ-Stunde Soll-Wert [Pers]	Langsamverkehr NVZ-Stunde Soll-Wert [Pers]
Zürich HB	100'143	27'312	20	20'029	5'462
Winterthur	23'867	6'509	20	4'773	1'302
Zürich Oerlikon	19'171	5'228	20	3'834	1'046
Zürich Stadelhofen	18'400	5'018	20	3'680	1'004
Zürich Hardbrücke	12'841	3'502	20	2'568	700
St. Gallen	12'002	3'273	20	2'400	655
Zürich Flughafen	5'707	1'557	10	571	156
Zürich Altstetten	9'052	2'469	10	905	247
Wetzikon	6'421	1'751	10	642	175
Chur	5'468	1'491	10	547	149
Uster	6'262	1'708	10	626	171
Rapperswil	5'354	1'460	10	535	146
Stettbach	5'445	1'485	10	545	149
Will	5'082	1'386	10	508	139
Dietikon	5'150	1'405	10	515	140
Thalwil	4'492	1'225	20	898	245
Bülach	4'538	1'238	10	454	124
Schaffhausen	4'356	1'188	10	436	119
Effretikon	4'379	1'194	10	438	119
Wädenswil	4'243	1'157	10	424	116
Weinfelden	4'016	1'095	10	402	110
Pfäffikon SZ	3'653	996	10	365	100
Zürich Enge	3'743	1'021	20	749	204
Frauenfeld	3'267	891	10	327	89
Landquart	2'791	761	10	279	76
Wallisellen	3'290	897	10	329	90
Schwerzenbach ZH	3'086	842	10	309	84
Sargans	2'745	749	10	275	75
Romanshorn	2'609	712	10	261	71
Gossau SG	2'496	681	10	250	68
Schlieren	2'723	743	10	272	74
Rüti ZH	2'541	693	10	254	69
Dübendorf	2'291	625	10	229	62
Ziegelbrücke	2'065	563	10	206	56
Meilen	2'110	575	10	211	58
Oberglatt	2'019	551	10	202	55
Zürich Wiedikon	2'155	588	10	216	59
Affoltern am Albis	1'974	538	10	197	54
Uznach	1'815	495	10	182	50
Stäfa	1'475	402	10	147	40
Oberwinterthur	1'361	371	10	136	37
Rorschach	1'180	322	10	118	32
Glattbrugg	1'361	371	10	136	37
Zürich Tiefenbrunnen	1'089	297	10	109	30
Birmensdorf ZH	1'044	285	10	104	28
Zürich Affoltern	930	254	10	93	25
Erlenbach ZH	953	260	10	95	26
Zürich Wipkingen	862	235	20	172	47
Winterthur Seen	771	210	10	77	21
Hinwil	726	198	10	73	20
St. Margrethen	635	173	10	64	17
Zürich Wollishofen	613	167	10	61	17

Tabelle 12 Zubringerleistung: Individualreisende mit autonomen Fahrzeugen

Betriebspunkt	DWV (2050) in HVZ-Stunde (2014 +25%) [Pers]	Individualreisende MIV in HVZ-Stunde [Pers]	MIV-Fahrten HVZ-Stunde (BG 1.6) [Fz]	Individualreisende wegfallende BP MIV in HVZ-Stunde [Pers]	MIV Zusatzfahrten HVZ-Stunde (BG 1.6) [Fz]	MIV gesamt HVZ-Stunde (BG 1.6) [Fz]
Zürich HB	100'143	5'007	3'129	0	0	3'129
Winterthur	23'867	2'387	1'492	3'006	1879	3'371
Zürich Oerlikon	19'171	3'834	2'396	386	241	2'637
Zürich Stadelhofen	18'400	5'520	3'450	0	0	3'450
Zürich Hardbrücke	12'841	5'136	3'210	0	0	3'210
St. Gallen	12'002	4'801	3'000	1'398	873	3'874
Zürich Flughafen	5'707	3'995	2'497	1'906	1191	3'688
Zürich Altstetten	9'052	6'337	3'960	0	0	3'960
Wetzikon	6'421	5'779	3'612	454	284	3'895
Chur	5'468	4'921	3'076	0	0	3'076
Uster	6'262	4'383	2'740	1'511	944	3'684
Rapperswil	5'354	3'748	2'342	1'554	971	3'314
Stettbach	5'445	4'901	3'063	0	0	3'063
Will	5'082	3'557	2'223	2'076	1297	3'521
Dietikon	5'150	4'635	2'897	1'162	726	3'623
Thalwil	4'492	2'695	1'685	3'403	2'127	3'812
Bülach	4'538	4'084	2'552	2'441	1526	4'078
Schaffhausen	4'356	3'920	2'450	885	553	3'003
Effretikon	4'379	3'941	2'463	1'965	1228	3'691
Wädenswil	4'243	3'818	2'386	1'295	810	3'196
Weinfelden	4'016	3'614	2'259	2'287	1429	3'688
Pfäffikon SZ	3'653	3'287	2'055	1'874	1171	3'226
Zürich Enge	3'743	2'995	1'872	0	0	1'872
Frauenfeld	3'267	2'940	1'838	3'114	1'946	3'784
Landquart	2'791	2'512	1'570	0	0	1'570
Wallisellen	3'290	2'961	1'850	3'222	2014	3'864
Schwerzenbach ZH	3'086	2'777	1'736	1'384	865	2'601
Sargans	2'745	2'471	1'544	2'035	1272	2'816
Romanshorn	2'609	2'348	1'468	790	493	1'961
Gossau SG	2'496	2'246	1'404	982	614	2'018
Schlieren	2'723	2'450	1'531	2'087	1305	2'836
Rüti ZH	2'541	2'287	1'429	334	208	1'638
Dübendorf	2'291	2'062	1'289	0	0	1'289
Ziegelbrücke	2'065	1'858	1'161	2'854	1784	2'945
Meilen	2'110	1'899	1'187	2'609	1631	2'818
Oberglatt	2'019	1'817	1'136	2'362	1476	2'612
Zürich Wiedikon	2'155	1'940	1'212	0	0	1'212
Affoltern am Albis	1'974	1'776	1'110	749	468	1'578
Uznach	1'815	1'634	1'021	2'053	1283	2'304
Stäfa	1'475	1'327	830	862	539	1'368
Oberwinterthur	1'361	1'225	766	3'973	2483	3'249
Rorschach	1'180	1'062	664	1'804	1127	1'791
Glattbrugg	1'361	1'225	766	1'679	1049	1'815
Zürich Tiefenbrunnen	1'089	980	613	2'065	1'290	1'903
Birmensdorf ZH	1'044	939	587	1'543	964	1'551
Zürich Affoltern	930	837	523	2'859	1787	2'310
Erlenbach ZH	953	858	536	1'429	893	1'429
Zürich Wipkingen	862	172	108	0	0	108
Winterthur Seen	771	694	434	701	438	872
Hinwil	726	653	408	1'781	1113	1'521
St. Margrethen	635	572	357	1'654	1034	1'391
Zürich Wollishofen	613	551	345	0	0	345

Tabelle 13 Zubringerleistung: Verteilung der Reisenden auf Verkehrsmodi

Betriebspunkt	DWV (2050) in HVZ-Stunde (2014 +25%) [Pers]	Kollektivreisende ÖV in HVZ-Stunde Soll Wert (20-75%) [Pers]	Langsamverkehr HVZ-Stunde Soll-Wert (10-20%) [Pers]	Individualreisende MIV in HVZ-Stunde Restwert [Pers]	Individualreisende wegfallende BP MIV in HVZ-Stunde [Pers]	MIV gesamt HVZ-Stunde (BG 1.6) [Fz]
Zürich HB	100'143	75'107	20'029	5'007	0	3'129
Winterthur	23'867	16'707	4'773	2'387	3'006	3'371
Zürich Oerlikon	19'171	11'503	3'834	3'834	386	2'637
Zürich Stadelhofen	18'400	9'200	3'680	5'520	0	3'450
Zürich Hardbrücke	12'841	5'136	2'568	5'136	0	3'210
St. Gallen	12'002	4'801	2'400	4'801	1'398	3'874
Zürich Flughafen	5'707	1'141	571	3'995	1'906	3'688
Zürich Altstetten	9'052	1'810	905	6'337	0	3'960
Wetzikon	6'421	0	642	5'779	454	3'895
Chur	5'468	0	547	4'921	0	3'076
Uster	6'262	1'252	626	4'383	1'511	3'684
Rapperswil	5'354	1'071	535	3'748	1'554	3'314
Stettbach	5'445	0	545	4'901	0	3'063
Wil	5'082	1'016	508	3'557	2'076	3'521
Dietikon	5'150	0	515	4'635	1'162	3'623
Thalwil	4'492	898	898	2'695	3'403	3'812
Bülach	4'538	0	454	4'084	2'441	4'078
Schaffhausen	4'356	0	436	3'920	885	3'003
Effretikon	4'379	0	438	3'941	1'965	3'691
Wädenswil	4'243	0	424	3'818	1'295	3'196
Weinfelden	4'016	0	402	3'614	2'287	3'688
Pfäffikon SZ	3'653	0	365	3'287	1'874	3'226
Zürich Enge	3'743	0	749	2'995	0	1'872
Frauenfeld	3'267	0	327	2'940	3'114	1'946
Landquart	2'791	0	279	2'512	0	1'570
Wallisellen	3'290	0	329	2'961	3'222	3'864
Schwerzenbach ZH	3'086	0	309	2'777	1'384	2'601
Sargans	2'745	0	275	2'471	2'035	2'816
Romanshorn	2'609	0	261	2'348	790	1'961
Gossau SG	2'496	0	250	2'246	982	2'018
Schlieren	2'723	0	272	2'450	2'087	2'836
Rüti ZH	2'541	0	254	2'287	334	1'638
Dübendorf	2'291	0	229	2'062	0	1'289
Ziegelbrücke	2'065	0	206	1'858	2'854	2'945
Meilen	2'110	0	211	1'899	2'609	2'818
Oberglatt	2'019	0	202	1'817	2'362	2'612
Zürich Wiedikon	2'155	0	216	1'940	0	1'212
Affoltern am Albis	1'974	0	197	1'776	749	1'578
Uznach	1'815	0	182	1'634	2'053	2'304
Stäfa	1'475	0	147	1'327	862	1'368
Oberwinterthur	1'361	0	136	1'225	3'973	3'249
Rorschach	1'180	0	118	1'062	1'804	1'791
Glattbrugg	1'361	0	136	1'225	1'679	1'815
Zürich Tiefenbrunnen	1'089	0	109	980	2'065	1'903
Birmensdorf ZH	1'044	0	104	939	1'543	1'551
Zürich Affoltern	930	0	93	837	2'859	2'310
Erlenbach ZH	953	0	95	858	1'429	1'429
Zürich Wipkingen	862	517	173	172	0	108
Winterthur Seen	771	0	77	694	701	872
Hinwil	726	0	73	653	1'781	1'521
St. Margrethen	635	0	64	572	1'654	1'391
Zürich Wollishofen	613	0	61	551	0	345

Tabelle 14 Mobilitätshub: Kennzahlen für HVZ-Stunde

Betriebspunkt	DWV (2014) (80% Pendler) [Pers]	DWV (2050) (2014 +25%, inkl. Umlei- tungsverkehr [Pers]	Mobilitätshub (1: 3600 Fz/h; 2: 1800 Fz/h)	Auslastung Mobilitätshub [%]	Zubringer: Modalsplit ÖV [%]	Zubringer: Modalsplit LV [%]	Zubringer: Modalsplit MIV [%]
Zürich HB	80'114	100'143	1	87%	75%	20%	5%
Winterthur	19'094	26'873	1	94%	62%	18%	20%
Zürich Oerlikon	15'337	19'557	1	73%	59%	20%	22%
Zürich Stadelhofen	14'720	18'400	1	96%	50%	20%	30%
Zürich Hardbrücke	10'273	12'841	1	89%	40%	20%	40%
St. Gallen	9'601	13'399	1	108%	36%	18%	46%
Zürich Flughafen	4'566	7'613	1	102%	15%	7%	78%
Zürich Altstetten	7'242	9'052	1	110%	20%	10%	70%
Wetzikon	5'136	6'874	1	108%	0%	9%	91%
Chur	4'374	5'468	1	85%	0%	10%	90%
Uster	5'009	7'773	1	102%	16%	8%	76%
Rapperswil	4'283	6'908	1	92%	16%	8%	77%
Stettbach	4'356	5'445	1	85%	0%	10%	90%
Wil	4'066	7'158	1	98%	14%	7%	79%
Dietikon	4'120	6'312	1	101%	0%	8%	92%
Thalwil	3'594	7'895	1	106%	11%	11%	77%
Bülach	3'630	6'979	1	113%	0%	7%	93%
Schaffhausen	3'485	5'241	1	83%	0%	8%	92%
Effretikon	3'503	6'343	1	103%	0%	7%	93%
Wädenswil	3'394	5'538	1	89%	0%	8%	92%
Weinfelden	3'213	6'303	1	102%	0%	6%	94%
Pfäffikon SZ	2'922	5'527	1	90%	0%	7%	93%
Zürich Enge	2'995	3'743	2	104%	0%	20%	80%
Frauenfeld	2'614	6'381	1	105%	0%	5%	95%
Landquart	2'232	2'791	2	87%	0%	10%	90%
Wallisellen	2'632	6'511	1	107%	0%	5%	95%
Schwerzenbach ZH	2'468	4'469	1	72%	0%	7%	93%
Sargans	2'196	4'780	1	78%	0%	6%	94%
Romanshorn	2'087	3'399	2	109%	0%	8%	92%
Gossau SG	1'997	3'478	2	112%	0%	7%	93%
Schlieren	2'178	4'810	1	79%	0%	6%	94%
Rüti ZH	2'033	2'875	2	91%	0%	9%	91%
Dübendorf	1'833	2'291	2	72%	0%	10%	90%
Ziegelbrücke	1'652	4'919	1	82%	0%	4%	96%
Meilen	1'688	4'719	1	78%	0%	4%	96%
Oberglatt	1'615	4'381	1	73%	0%	5%	95%
Zürich Wiedikon	1'724	2'155	2	67%	0%	10%	90%
Affoltern am Albis	1'579	2'723	2	88%	0%	7%	93%
Uznach	1'452	3'868	2	128%	0%	5%	95%
Stäfa	1'180	2'337	2	76%	0%	6%	94%
Oberwinterthur	1'089	5'334	1	90%	0%	3%	97%
Rorschach	944	2'983	2	99%	0%	4%	96%
Glattbrugg	1'089	3'040	2	101%	0%	4%	96%
Zürich Tiefenbrunnen	871	3'154	2	106%	0%	3%	97%
Birmensdorf ZH	835	2'586	2	86%	0%	4%	96%
Zürich Affoltern	744	3'789	1	64%	0%	2%	98%
Erlenbach ZH	762	2'382	2	79%	0%	4%	96%
Zürich Wipkingen	690	862	-	0%	60%	20%	20%
Winterthur Seen	617	1'472	2	48%	0%	5%	95%
Hinwil	581	2'507	2	85%	0%	3%	97%
St. Margrethen	508	2'289	2	77%	0%	3%	97%
Zürich Wollishofen	490	613	2	19%	0%	10%	90%

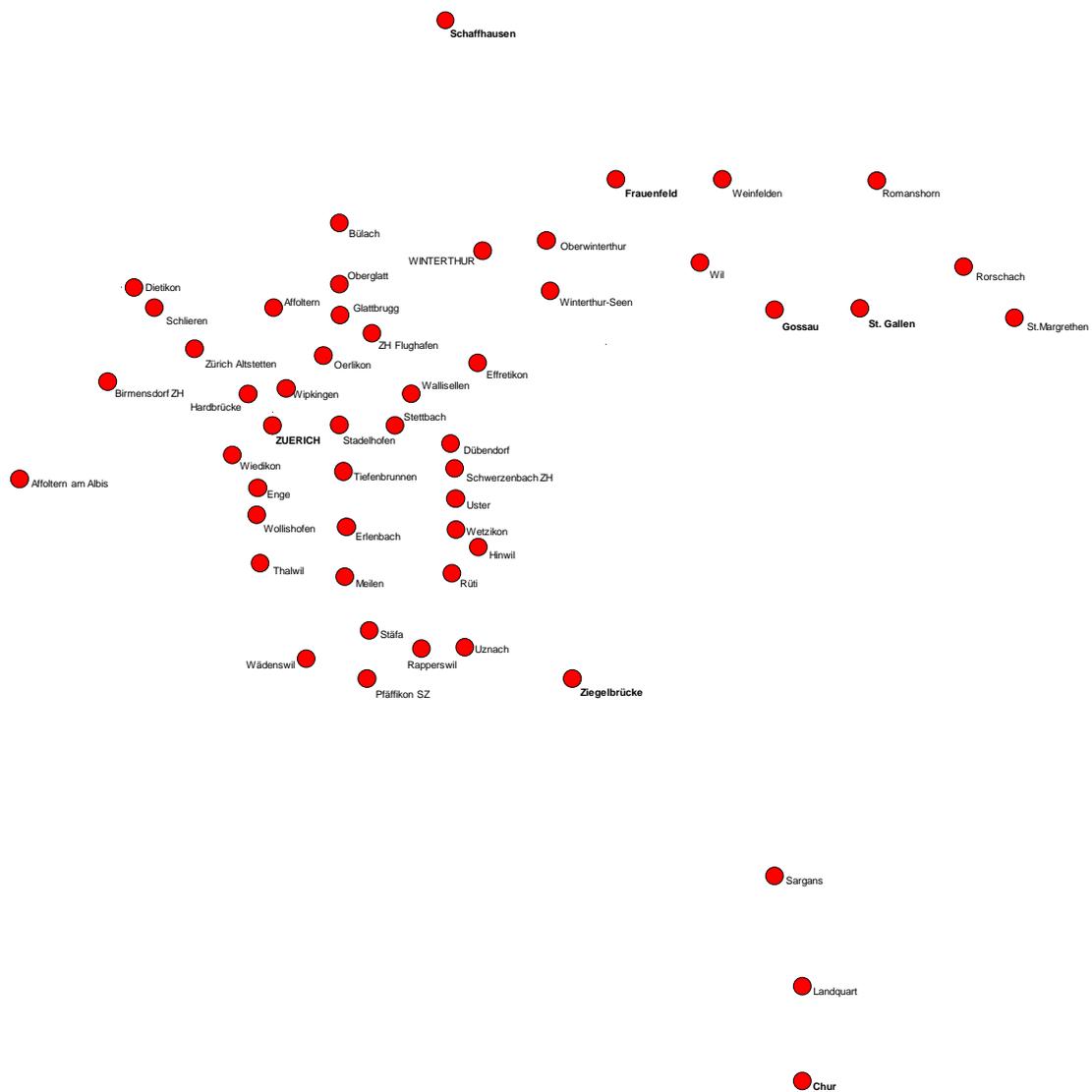
Tabelle 15 Mobilitätshub: Kennzahlen für NVZ-Stunde

Betriebspunkt	DWV (2014) (80% Pendler) [Pers]	DWV (2050) (2014 +25%, inkl. Umlei- tungsverkehr [Pers]	Mobilitätshub (1: 3600 Fz/h; 2: 1800 Fz/h)	Auslastung Mobilitätshub [%]	Zubringer: Modalsplit ÖV [%]	Zubringer: Modalsplit LV [%]	Zubringer: Modalsplit MIV [%]
Zürich HB	21'849	27'312	1	24%	75%	20%	5%
Winterthur	5'207	7'329	1	26%	62%	18%	20%
Zürich Oerlikon	4'183	5'334	1	20%	59%	20%	22%
Zürich Stadelhofen	4'014	5'018	1	26%	50%	20%	30%
Zürich Hardbrücke	2'802	3'502	1	24%	40%	20%	40%
St. Gallen	2'619	3'654	1	29%	36%	18%	46%
Zürich Flughafen	1'245	2'076	1	28%	15%	7%	78%
Zürich Altstetten	1'975	2'469	1	30%	20%	10%	70%
Wetzikon	1'401	1'875	1	30%	0%	9%	91%
Chur	1'193	1'491	1	23%	0%	10%	90%
Uster	1'366	2'120	1	28%	16%	8%	76%
Rapperswil	1'168	1'884	1	25%	16%	8%	77%
Stettbach	1'188	1'485	1	23%	0%	10%	90%
Wil	1'109	1'952	1	27%	14%	7%	79%
Dietikon	1'124	1'721	1	27%	0%	8%	92%
Thalwil	980	2'153	1	29%	11%	11%	77%
Bülach	990	1'903	1	31%	0%	7%	93%
Schaffhausen	950	1'429	1	23%	0%	8%	92%
Effretikon	955	1'730	1	28%	0%	7%	93%
Wädenswil	926	1'510	1	24%	0%	8%	92%
Weinfelden	876	1'719	1	28%	0%	6%	94%
Pfäffikon SZ	797	1'507	1	24%	0%	7%	93%
Zürich Enge	817	1'021	2	28%	0%	20%	80%
Frauenfeld	713	2'231	1	37%	0%	4%	96%
Landquart	609	761	2	24%	0%	10%	90%
Wallisellen	718	1'776	1	29%	0%	5%	95%
Schwerzenbach ZH	673	1'219	1	20%	0%	7%	93%
Sargans	599	1'304	1	21%	0%	6%	94%
Romanshorn	569	927	2	30%	0%	8%	92%
Gossau SG	545	949	2	31%	0%	7%	93%
Schlieren	594	1'312	1	21%	0%	6%	94%
Rüti ZH	554	784	2	25%	0%	9%	91%
Dübendorf	500	625	2	20%	0%	10%	90%
Ziegelbrücke	450	1'341	1	22%	0%	4%	96%
Meilen	460	1'287	1	21%	0%	4%	96%
Oberglatt	441	1'195	1	20%	0%	5%	95%
Zürich Wiedikon	470	588	2	18%	0%	10%	90%
Affoltern am Albis	431	743	2	24%	0%	7%	93%
Uznach	396	1'055	2	35%	0%	5%	95%
Stäfa	322	637	2	21%	0%	6%	94%
Oberwinterthur	297	1'455	1	25%	0%	3%	97%
Rorschach	257	814	2	27%	0%	4%	96%
Glattbrugg	297	829	2	28%	0%	4%	96%
Zürich Tiefenbrunnen	238	860	2	29%	0%	3%	97%
Birmensdorf ZH	228	705	2	24%	0%	4%	96%
Zürich Affoltern	203	1'033	1	17%	0%	2%	98%
Erlenbach ZH	208	650	2	22%	0%	4%	96%
Zürich Wipkingen	188	235	-	0%	60%	20%	20%
Winterthur Seen	168	402	2	13%	0%	5%	95%
Hinwil	158	684	2	23%	0%	3%	97%
St. Margrethen	139	624	2	21%	0%	3%	97%
Zürich Wollishofen	134	167	2	5%	0%	10%	90%

4.5 Schienenverkehrskonzept 2050

Im Raum Zürich–Ostschweiz sind gemäss den vorhergehenden Arbeitsschritten 32 grosse und 20 kleine Mobilitätshubs erforderlich, um die prognostizierte Verkehrsnachfrage auf der Schiene abwickeln zu können. Die geographische Verteilung zeigt, dass vor allem im Grossraum Zürich die Dichte an Betriebspunkten markant zunimmt. Je grösser die Distanz zu einer Agglomeration oder einer Stadt, desto geringer ist die Betriebsstellendichte.

Abbildung 16 Geographische Verteilung der Betriebspunkte

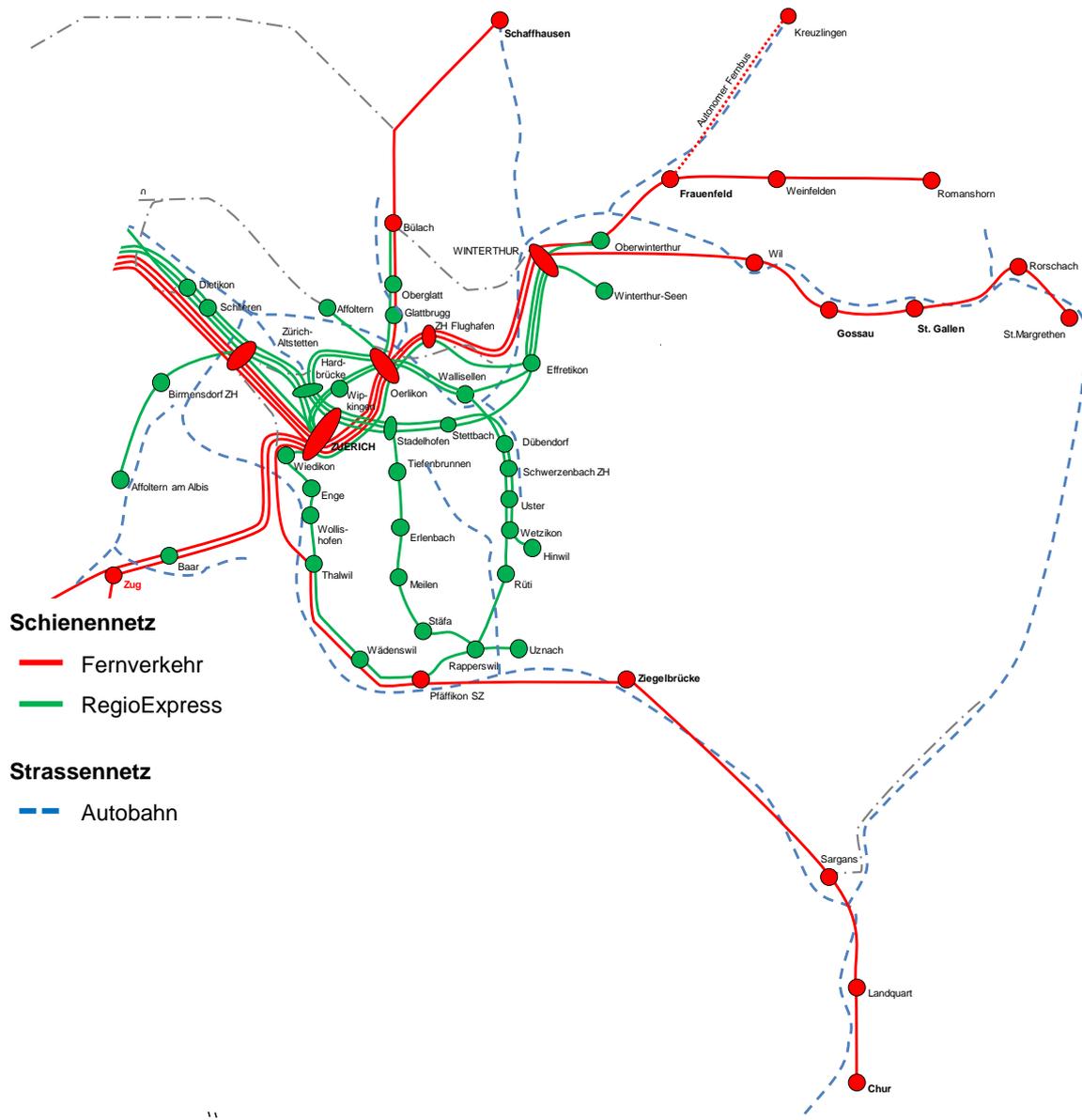


Quelle: Eigene Darstellung

4.5.1 Schienen- und Autobahnnetz 2050

Die Verbindung zwischen den verbleibenden Betriebspunkten ist in einer Vielzahl der Fälle sowohl mit der Schiene wie auch auf der Strasse möglich.

Abbildung 17 Schienen- und Autobahnnetz 2050



Quelle: Eigene Darstellung

Der Fahrzeitvergleich Strasse–Schiene mit Routenplaner und Online-Fahrplan zeigt, dass die Eisenbahn bezüglich der Reisezeiten gegenüber einem autonomen Auto auf vielen Strecken konkurrenzfähig ist. Es gibt jedoch auch Elemente im heutigen Angebotskonzept der Eisenbahn, die künftig mit dem Einsatz selbstfahrender Fahrzeuge kaum mehr nachgefragt werden.

Ein Beispiel ist die Fernverkehrsverbindung (Zürich–)Frauenfeld–Weinfelden–Kreuzlingen. Im Fahrplan 2017 benötigt der Zug für die Fahrt von Frauenfeld nach Kreuzlingen 35 Minuten. Das Auto benötigt gemäss Routenplaner für die gleiche Strecke 20 Minuten. Die Zeiterparnis auf einer Strecke von 23.31 km (Luftdistanz) beträgt somit zehn Minuten, wenn für das Umsteigen vom Zug auf das autonome Auto noch fünf Minuten Zeit einberechnet wird. Diese Verbindung kann ein mögliches Einsatzgebiet für autonome Busse sein.

4.5.2 Betriebskonzept Schienenverkehr

Für die weiteren Untersuchungen und die spätere Beurteilung der Netzwerkeffizienz (vgl. Kapitel 2.5.6) ist ein Betriebskonzept für den Schienenverkehr entwickelt worden. Es orientiert sich an den Annahmen zum öffentlichen Schienenverkehr (vgl. Kapitel 4.3). Das Betriebskonzept unterscheidet zwischen Fernverkehr- (rot) und RegioExpress-Verbindungen (grün). Als Rollmaterial ist ein doppelstöckiges Fahrzeug mit einer Länge von hundert Meter hinterlegt. Es verkehrt in Doppeltraktion. Der Vergleich der strukturellen Attribute des Betriebskonzepts 2017 (Fahrplan 2017) mit dem Betriebskonzept 2050 (vgl. Abbildung 18) zeigt, dass die Züge pro Stunde auf den Hauptstrecken markant gesteigert werden können. Einzige Ausnahme ist Thalwil. Bei der Relation Thalwil–Zürich kommt es zu einem Rückgang um einen Drittel. Grund hierfür ist die Umfahrung von Thalwil mit den Zügen von der Innerschweiz via Zimmerberg II-Tunnel.

Die Anzahl an Zügen lässt sich für das Betriebskonzept 2017 aus dem aktuellen Fahrplan ableiten. Beim Betriebskonzept 2050 kann die Netzgrafik zur Bahn 2050 (vgl. Abbildung 18) als Grundlage genommen werden. Der Wert zu den verfügbaren Sitzplätzen stellt eine vereinfachte Annahme dar. Statt einem effektiven Rollmaterialeinsatz (Länge und Anzahl der Sitzplätze der effektiv eingesetzten Komposition) wurde eine Standardkomposition gemäss dem definierten Referenzrollmaterial (vgl. Fusszeile von Tabelle 16) ausgewertet. Die Werte 2017 sind mit dem durchgängigen Einsatz von 300m langen Doppelstock-Triebfahrzeugen sehr progressiv gewählt. In Realität verkehren hier teilweise Kompositionen mit vier bis fünf einstöckigen Wagen. Bei der Interpretation der strukturellen Attribute ist dieser Sachverhalt entsprechend zu berücksichtigen.

Tabelle 16 Strukturelle Attribute für Kanten 2017 vs. 2050

Betriebskonzept 2017 vs. Betriebskonzept 2050: Grundangebot (Nebenverkehrszeit)						
	2017		2050 (vgl. Abbildung 18)			
	Züge pro Stunde und Richtung	verfügbare Sitzplätze ¹ pro Stunde und Richtung	Züge pro Stunde und Richtung	Änderung 2017vs. 2050	verfügbare Sitzplätze ² pro Stunde und Richtung	Änderung 2017vs. 2050
Schaffhausen–Zürich	4	4'280	6	+50%	4'044	-6%
Bülach–Zürich	3	3'210	12	+300%	8'088	+152%
Romanshorn–Zürich	1	1'070	6	+500%	4'044	+278%
St. Gallen–Zürich	3	3'210	6	+100%	4'044	+26%
Winterthur–Zürich	13	13'910	30	+130%	20'220	+31%
Effretikon–Zürich	10	10'700	18	+80%	12'132	+13%
Wetzikon–Zürich	8	8'560	12	+50%	8'088	-5%
Rapperswil–Zürich	6	6'420	12	+100%	8'088	+26%
Meilen–Zürich	4	4'280	6	+50%	4'044	-5%
Chur–Zürich	2.5	2'675	6	+140%	4'044	+51%
Pfäffikon SZ–Zürich	6	6'420	12	+100%	8'088	+26%
Thalwil–Zürich	9	9'630	6	-33%	4'044	-58%

¹ Referenzrollmaterial: KISS160, Stadler, Länge: 150m (Einfachtraktion), verkehrt in Doppeltraktion, Sitzplätze: 535 (Einfachtraktion), 1'070 (Doppeltraktion)

² Referenzrollmaterial: KISS160, Stadler, Länge 100m, (Einfachtraktion), verkehrt in Doppeltraktion, Sitzplätze: 337 (Einfachtraktion), 674 (Doppeltraktion)

Bei den verfügbaren Sitzplätzen gibt es Relationen mit einem grossen Wachstum. Andere verzeichnen einen Rückgang im einstelligen Prozentbereich (Ausnahme Thalwil). Die Abweichungen sind wie eingangs erwähnt teilweise zu relativieren. Die Annahme zu den verfügbaren Sitzplätzen ist für den Fahrplan 2017 eher progressiv gewählt worden.

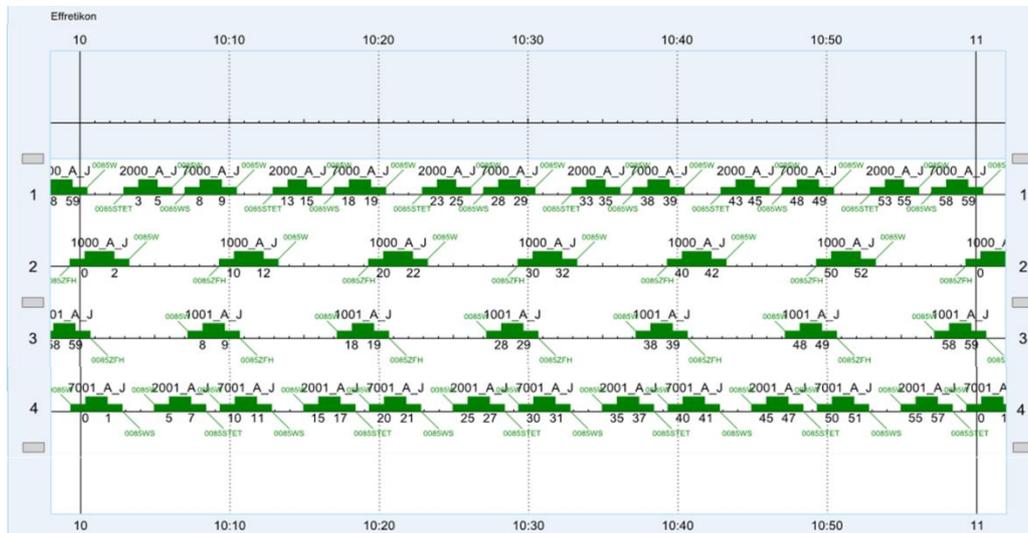
In einer Optimierungsrunde des Betriebskonzeptes 2050 müssten jedoch folgende Punkte genauer untersucht werden:

- Für die Relation Wetzikon–Zürich muss eine zusätzliche Verbindung auf ihre Machbarkeit geprüft werden.
- Für Thalwil muss eine Bedienung mit dem Fernverkehr Zürich–Chur vertieft werden.

Bei den Relationen Meilen–Zürich und Schaffhausen–Zürich wären keine weiteren Optimierungen vorgesehen.

Für die Mobilitätshubs sind die Gleisbelegungen auf ihre Machbarkeit hin geprüft worden. Exemplarisch ist die Gleisbelegung in Effretikon abgebildet.

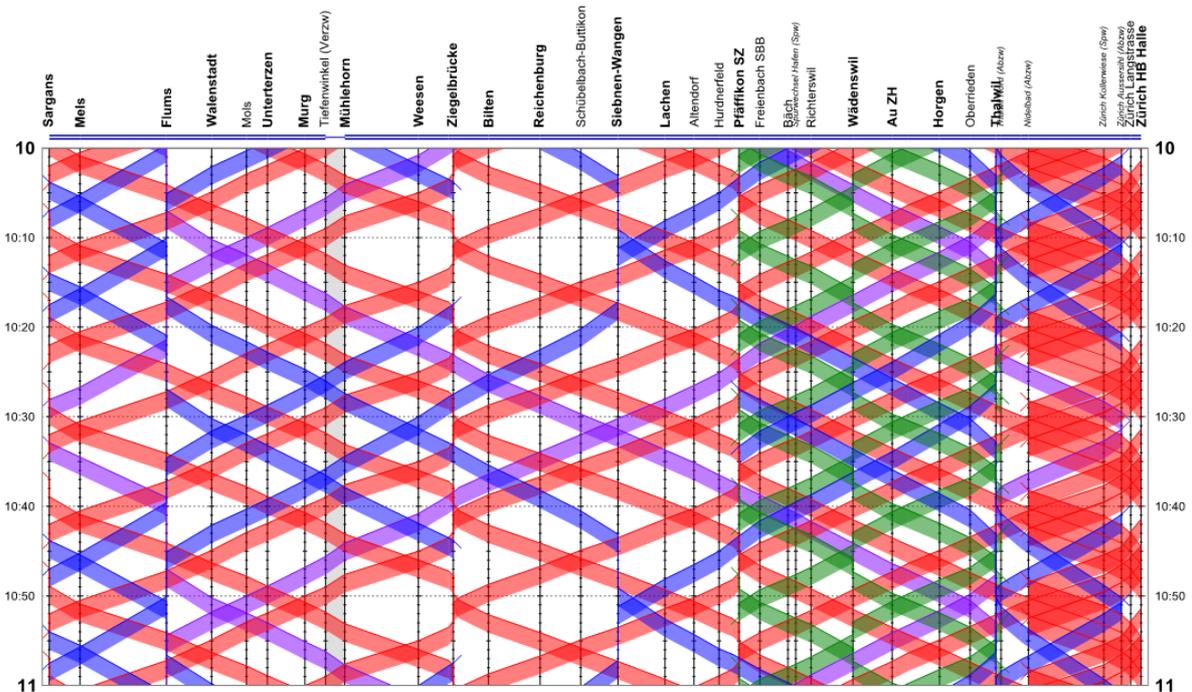
Abbildung 19 Gleisbelegungsplan für Mobilitätshub Effretikon



Quelle: Eigene Darstellung

Streckenseitig sind die Trassierungen im grafischen Fahrplan überprüft worden. Als Beispiel ist der grafische Fahrplan der Strecke Sargans–Zürich abgebildet.

Abbildung 20 Grafischer Fahrplan für Strecke Sargans–Zürich



Quelle: Eigene Darstellung

5 Konklusion

Als letzter Schritt wird das Schienenverkehrskonzept anhand seiner Netzwerkeffizienz beurteilt. Es erfolgt eine Beurteilung der Auswirkungen auf die Infrastruktur und die Finanzen, bevor ein Abgleich mit dem anfänglich definierten Zielsystem Bahn 2050 durchgeführt wird. Den Abschluss bilden die Würdigung und die Aufbereitung der Haupteckdaten in Form einer Handlungsempfehlung zur Bahn 2050.

5.1 Beurteilung Schienenverkehrskonzept 2050

Für die Eruierung der Netzwerkeffizienz werden die Zugzahlen (pro Stunde und Richtung), die Umsteigehäufigkeit und die Reisezeitgewinne und -verluste zwischen zwei Knoten im Betriebskonzept 2050 mit den Werten des heutigen Grundangebotes verglichen.

Der Vergleich der Reisezeiten zeigt, dass sich auch diese mehrheitlich verbessern. Die Angebotsdichte wird auch über längere Reisedistanzen mehrheitlich erhöht. Bei der Umsteigehäufigkeit kann auch partiell eine Verbesserung erzielt werden.

Tabelle 17 Auswertung der Netzwerkeffizienz 2017 vs. 2050 (Grundangebot, 1. Teil)

Relation	2017***			2050		
	Züge pro h und Richtung*	Umsteige- häufigkeit	Reisezeit** [min]	Züge pro h und Richtung*	Umsteige- häufigkeit	Reisezeit** [min]
Romanshorn–Winterthur	2	1 x 0 / 1 x 1	43 / 50	6	0	38
Romanshorn–Zürich Oerlikon	2	1 x 1 / 1 x 2	71 / 86	6	0	55
Romanshorn–Zürich HB	2	1 x 0 / 1 x 1	71 / 78	6	0	62
Romanshorn–Zürich Altstetten	2	1 x 1 / 1 x 2	85 / 92	6	1	78
Romanshorn–Bern	2	1 x 0 / 1 x 2	138 / 145	6	1	123
St. Gallen–Winterthur	3	0	36 / 44	6	0	40
St. Gallen–Zürich Oerlikon	2	1	64 / 69	6	0	57
St. Gallen–Zürich HB	3	0	62 / 71	6	0	64
St. Gallen–Zürich Altstetten	3	1	79 / 83	6	1	71
St. Gallen–Bern	2	1 x 0 / 1 x 1	123 / 136	6	0	120
Effretikon–Winterthur	6	0	7	18	0	7
Effretikon–Zürich Oerlikon	6	0	11 / 17	12	0	10
Effretikon–Zürich HB	8	0	17 / 26	18	0	16
Effretikon–Zürich Altstetten	8	2 x 0 / 6 x 1	26 / 32	12	0	23
Effretikon–Bern	2	1	79	6	1	80

* sofern Direktverbindungen vorhanden, werden nur diese bewertet.

** kürzeste Reisezeit aller Möglichkeiten, Umsteigevorgänge werden mit den aktuellen Umsteigezeiten kalkuliert.

*** Ohne Brüttener und Zimmerberg II-Tunnel

Tabelle 18 Auswertung der Netzwerkeffizienz 2017 vs. 2050 (Grundangebot, 2. Teil)

Relation	2017***			2050		
	Züge pro h und Richtung*	Umsteige-häufigkeit	Reisezeit** [min]	Züge pro h und Richtung*	Umsteige-häufigkeit	Reisezeit** [min]
Wetzikon–Winterthur	4	2 x 1 / 2 x 2	35 / 39	6	1	42
Wetzikon–Zürich Oerlikon	4	0	23 / 29	6	0	23
Wetzikon–Zürich HB	8	0	20 / 37	12	0	29
Wetzikon–Zürich Altstetten	6	0	29 / 46	6	0	43
Wetzikon–Bern	2	1	88	6	1	93
Rapperswil–Winterthur	6	2 x 1 / 4 x 2	54 / 59	6	1	56
Rapperswil–Zürich Oerlikon	6	4 x 0 / 2 x 1	46 / 41	6	0	37
Rapperswil–Zürich HB	6	0	36 / 37	12	0	38
Rapperswil–Zürich Altstetten	4	2 x 0 / 2 x 1	44 / 51	6	1	53
Rapperswil–Bern	2	1	104	6	1	98
Chur–Winterthur	3	1	108 / 123	6	1	107
Chur–Zürich Oerlikon	3	1	88 / 103	6	1	89
Chur–Zürich HB	3	0	74 / 92	6	0	76
Chur–Zürich Altstetten	3	1	86 / 109	6	1	93
Chur–Bern	3	1	139 / 162	6	1	141
Thalwil–Winterthur	9	2 x 0 / 7 x 1	40 / 54	6	0	39
Thalwil–Zürich Oerlikon	9	7 x 0 / 2 x 1	19 / 29	6	0	20
Thalwil–Zürich HB	9	0	9 / 18	6	0	15
Thalwil–Zürich Altstetten	6	1	25 / 30	6	1	27
Thalwil–Bern	2	1	73 / 79	6	1	74

* sofern Direktverbindungen vorhanden, werden nur diese bewertet.

** kürzeste Reisezeit aller Möglichkeiten, Umsteigevorgänge werden mit den aktuellen Umsteigezeiten kalkuliert.

*** Ohne Brüttener und Zimmerberg II-Tunnel

Von Verschlechterungen bei der Reisezeit sind primär Wetzikon und Thalwil betroffen. Bei Wetzikon fallen aufgrund der Standardisierung der Angebotsstruktur die schnellen S-Bahn-Verbindungen nach Zürich weg. Die Fahrzeit verlängert sich daher um neun Minuten. Gegenüber der langsamsten Verbindung im Fahrplan 2017 wird die Reise im 2050 jedoch um acht Minuten schneller. Bei Thalwil ist wiederum der Wegfall der Fernverkehrshalte (Umfahrung Thalwil mit Zimmerberg II-Tunnel) der Auslöser für die Verschlechterung der Reisezeiten ab Thalwil. Zudem verkehren die Produkte ab Thalwil konsequent via Zürich Enge.

In der Optimierungsrunde des Betriebskonzeptes 2050 wäre zu prüfen, ob mit den im Kapitel 4.5.2 erwähnten Massnahmen auch Verbesserungen bei den Reisezeiten realisierbar sind.

Die Verschlechterung bei den Reisezeiten von Schaffhausen und Bülach nach Winterthur sind die Folge der wegfallenden Direktverbindungen. Die Reisenden müssten neu via Zürich Oerlikon reisen. Im vorliegenden Verkehrsmodell würden jedoch diese Reisenden die autonomen Strassenfahrzeuge nutzen.

5.2 Auswirkungen auf Infrastruktur und Finanzen

Aus dem Betriebskonzept 2050 lassen sich die Auswirkungen auf die Infrastruktur und die Finanzen ableiten.

5.2.1 Erforderliche Ausbauten im Strassennetz

Im Strassennetz müssten in erster Linie die noch fehlenden Autobahnabschnitte zwischen Sihlbrugg–Wädenswil (A4a) und Uster–Hinwil (A53) realisiert werden. Zur Sicherstellung weiterer Tangentialverbindungen ist eine neue Autobahn oder Autostrasse von Uznach via Rickentunnel nach Wattwil und Wil zu prüfen. Der bestehende Autobahnzubringer A1.1 von Meggenhus nach Arbon ist bis nach Romanshorn zu verlängern.

5.2.2 Erforderliche Ausbauten im Schienennetz

Im Schienennetz muss das geplante Konzept für den Angebotsschritt 2030 (12 Milliarden, Arbeitsstand: März 2017), insbesondere der Brüttener-Tunnel, der Zimmerberg II-Tunnel und das vierte Gleis in Stadelhofen umgesetzt werden. Zudem müssen die Strecken konsequent auf eine durchgängige Doppelspur ausgebaut werden. Die möglichen Konfliktpunkte vor den Knoten und auf den Strecken müssen niveaufrei entflochten sein. Zudem ist netzweit die einheitliche Zugfolgezeit von zwei Minuten (technisch 100 Sekunden) zu realisieren.

5.2.3 Potential für Kosteneinsparungen im Schienenunterhalt

Das Betriebskonzept 2050 ermöglicht den Rückbau von nicht mehr genutzten Strecken und Betriebspunkten. Die Zusammenstellung der nicht mehr benötigten Infrastruktur (vgl. Tabelle 20) hilft bei der Abschätzung der wegfallenden jährlichen Instandhaltungskosten.

Die Berechnung zeigt ein Potential für Kosteneinsparungen von rund einer halben Milliarde Schweizer Franken für das gesamte Schweizer Schienennetz (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19 Potential für Kosteneinsparungen bei Instandhaltungskosten

	wegfallende Instandhaltungskosten pro Jahr	Kostensatz	Bemerkung
Variante 1	CHF 567'487'200	CHF 340'000	Unterhaltskosten pro Schienenkilometer € 312'000/a Quelle: Schlesiger, Wettach und Haerder, 2017
Variante 2	CHF 478'308'239	CHF 286'570	Unterhaltskosten pro Schienenkilometer und Jahr 1% von Wiederbeschaffungswert Quelle: Schweizerische Eidgenossenschaft (2016)

Tabelle 20 Topologie der wegfallenden Eisenbahnstrecken

Strecke	Streckenkilometer [km]	Tunnelkilometer [km]	Betriebspunkte Anzahl
Rorschach–Romanshorn	16	0	6
St. Fiden–Romanshorn	19	3	5
Romanshorn–Schaffhausen	67	0	27
St. Margrethen–Buchs	38	0	8
Trübbach–Sargans	4	0	0
Gossau–Sulgen	23	0	6
Wil–Weinfelden	19	0	9
Weinfelden–Konstanz	22	0	7
Wil–Wattwil–Nesslau	35	0	8
St. Gallen–Herisau–Uznach	46	13	10
Pfäffikon–Arth–Goldau	35	0	11
Uznach–Ziegelbrücke	12	0	5
Ziegelbrücke–Linthal	27	0	14
Wädenswil–Einsiedeln	17	0	3
Oberwinterthur–Etzwilen	28	0	8
Winterthur–Schaffhausen	28	0	6
Winterthur Seen–Rüti	42	0	13
Effretikon–Wetzikon	24	0	4
Zug–Affoltern am Albis	14	0	9
Litti–Thalwil	12	5	3
Niederweningen–Oberglatt	12	0	6
Zwischentotal	540	23	168
Waldshut–Turgi	17	0	5
Sissach–Olten	18	3	6
Lenzburg–Emmenbrücke	42	1	17
Gütsch–Immensee	17	3	6
Rynächt–Biasca (Gotthard-Bergstrecke)*	180	31	11
Giubiasco–Lugano (Ceneri-Bergstrecke)*	40	3	5
Gütsch–Konolfingen	72	2	17
Langenthal–Wolhusen	39	0	14
Huttwil–Ramsei	19	0	5
Hasle–Obermatt	12	0	3
Moutier–Burgdorf–Thun	84	4	25
Belp–Thun	22	0	7
Spiez–Zweisimmen	35	0	16
Frutigen–Brig (Lötschberg-Berstrecke)*	120	28	7
Bern–Schwarzenburg	17	0	9
Flamatt–Laupen	7	0	3
Biel–Delémont	24	9	2
Delémont–Delle	40	6	13
Sonceboz–Moutier	25	2	7
Biel–Le Locle	53	3	14
Neuchâtel–Pontarlier	47	3	6
Lyss–Murten–Palézieux	86	0	26
Yverdon–Fribourg	50	0	11
Daillens–Vallorbe	28	0	6
Vevey–Puidoux	8	0	4
St. Gingolph–St. Maurice	25	0	8
Gesamttotal	1669	122	421

* Streckenkilometer sind doppelt gezählt, da durchgehende Doppelspur auf diesen Strecken vorhanden.

Quelle: Eigene Darstellung

5.3 Abgleich mit Zielsystem

Das Schienenverkehrskonzept 2050 schafft eine gute Grundlage, damit die anfänglich formulierten Haupt- und Teilziele erreicht werden können.

Tabelle 21 Abgleich mit Zielsystem Bahn 2050

Hauptziel	Teilziele	
H1 Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahn	T1.1: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll auf die Stärken der Eisenbahn und ihre Kernaufgabe als Massentransportmittel setzen (Leitsatz 2).	✓
	T1.2: Mit dem Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Bahnangebot und die Infrastruktur bereinigt und gezielt weiterentwickelt werden. Schwach ausgelastete Strecken sollen hinterfragt und ggf. zurückgebaut werden (Leitsatz 3).	✓
	T1.3: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll aufgrund der hohen Systemfixkosten und der angestrebten Effizienz eine zentripetale Netzwerkstruktur anstreben (Leitsatz 16).	✓
	T1.4: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll Einsparungen bei der Instandhaltung der Systemelemente ermöglichen (Leitsatz 22).	✓
H2 Definition von neuer Ausbaustrategie mit innovativen Lösungsansätzen	T2.1: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung ermöglichen und die Landnutzung für Verkehrsflächen auf ein Minimum reduzieren (Leitsatz 1).	✓
	T2.2: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die neuen Möglichkeiten virtueller und individualisierter Reiseberater und die damit teilweise wegfallenden Verkehrssystembrüche berücksichtigen (Leitsatz 6).	✓
	T2.3: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll ab 2040 in ländlichen Gebieten eine Erschließung mit autonomen Strassenfahrzeugen ermöglichen (Leitsatz 8).	✓
	T2.4: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll sowohl für Reisende, welche Shared Mobility Angebote nutzen, wie für Reisende mit eigenem selbstfahrenden Auto sinnvoll nutzbar sein (Leitsatz 14).	✓
	T2.5: Im Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Kapazitätsmanagement und der Betrieb intermodal und automatisiert erfolgen (Leitsatz 15).	✓
H3 Sicherstellung der effizienten und effektiven Grundversorgung im Mobilitätsbereich	T3.1: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die verschiedenen Landesteile ausreichend berücksichtigen (Leitsatz 19).	✓
	T3.2: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll den ländlichen Gebieten helfen, sich im Wettbewerb um Bewohner, Besucher, Investoren und Konsumenten neu zu positionieren (Leitsatz 9).	✓
	T3.3: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll innerhalb der ländlichen Gebiete massgeschneiderte Mobilitätslösungen für die disperse Nachfrage ermöglichen (Leitsatz 11).	✓
	T3.4: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll in dicht besiedelten Gebieten die kundenorientierte Optimierung und Weiterentwicklung bestehender Bahnangebote ermöglichen (Leitsatz 10).	✓
	T3.5: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll einen wichtigen Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs leisten und die Zielerreichung bis 2050 ermöglichen (Leitsatz 13).	✓
H4 Gestaltung eines multimodalen Verkehrssystems	T4.1: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll die in der Bevölkerung wachsende Bereitschaft für multimodale Verkehrskonzepte aufgreifen und intelligente Mobilitätslösungen anbieten (Leitsatz 7).	✓
	T4.2: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll auf Basis der strukturellen Attribute der Kanten und Knoten des aktuell geplanten Netzwerks weiterentwickelt werden (Leitsatz 17).	✓
	T4.3: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll als Hub-Speichen-Netzwerk definiert werden und somit die rationalisierte Verkehrserschließung auf der Schiene sicherstellen (Leitsatz 20).	✓
	T4.4: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll zwischen den verbleibenden Knoten die heutigen Reisezeiten und Angebotsdichten beibehalten, respektive verbessern (Leitsatz 21).	✓
	T4.5: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll über ausreichend Alternativverbindungen verfügen, dass im Ereignisfall der Verkehr über alternative Verkehrsrouten geführt werden kann (Leitsatz 18).	✓
	T4.6: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll sich im ländlichen Gebiet auf den Mittel- und Langstreckenverkehr (>10 Kilometer) fokussieren und die schnelle Anbindung an die Zentren für Berufs- und Ausbildungswege sicherstellen (Leitsatz 4).	✓
	T4.7: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll das Rückgrat des Verkehrsangebots im städtischen Kontext sein und die schnelle Verbindung zwischen den nationalen Zentren ermöglichen (Leitsatz 5).	✓
	T4.8: Das Schienenverkehrskonzept „Bahn 2050“ soll Mobilitätshubs beinhalten, welche die Anbindung der ländlichen Gebiete an die Zentren sicherstellen. Das Angebotskonzept der Bahn zwischen den Mobilitätshubs integriert sich qualitativ und quantitativ in die Erschließung mit selbstfahrenden Autos (Leitsatz 12).	✓

Quelle: Eigene Darstellung

5.4 Würdigung

Diese Arbeit kann einen Beitrag zur Entwicklung einer strategischen Schienenverkehrsperspektive unter Berücksichtigung der Möglichkeiten selbstfahrender Strassenfahrzeuge leisten.

Das Kernelement eines intermodalen Verkehrskonzeptes ist der Mobilitätshub. Er stellt einerseits die individuellen Mobilitätsbedürfnisse in ländlichen Gebieten und andererseits die effizienten und effektiven Anbindung der regionalen Zentren an die Metropolitan-Regionen sicher. Die Ausgestaltung des Mobilitätshubs als Verkehrsknoten in Brückenlage verfügt über einen hohen Kundennutzen. Trotz der hohen Baukosten sollte dies als Grundlage für die weiterführenden Studien genutzt werden.

Generell sind die Dimensionierung und geschickte Anordnung der Mobilitätshubs im Schienennetz von zentraler Bedeutung, damit die Eisenbahn auch in der Mobilität der Zukunft einen Platz in den individualisierten Reiseketten einnehmen kann. Das erarbeitete Modell zur Ermittlung der Kapazitätsgrenze von Mobilitätshubs hat sich in der vorliegenden Fallstudie bewährt. Für das Untersuchungsgebiet Zürich–Ostschweiz konnten die Anzahl an erforderlichen Mobilitätshubs und deren Lage sinnvoll festgelegt werden. Zudem konnte ein Schienenverkehrskonzept zwischen den Mobilitätshubs entworfen werden, welches sich durch eine hohe Taktfolge und generelle Angebotsqualität auszeichnet.

Das Schienenverkehrskonzept beinhaltet **52 Mobilitätshubs**. Sie **ersetzen die heutigen 267 Bahnhöfe**. Das **Grundangebot** sieht einen **10-Minuten-Takt** vor. Auf einzelnen Korridoren verdichtet sich die Taktfolge **auf bis zu zwei Minuten**. Das Bahnsystem ist hochgradig standardisiert und automatisiert. Nicht mehr benötigte Infrastruktur ist konsequent zurückgebaut. Dadurch lässt sich ein **Sparpotential** bei den **jährlichen Instandhaltungskosten von rund einer halben Milliarde Schweizer Franken** für das Normalspurnetz der SBB realisieren. Die vorliegende Arbeit zeigt zudem, dass auf der bis 2030 geplanten Bahninfrastruktur noch **mindestens 50 Prozent mehr Kapazität** zur Verfügung gestellt werden kann. Dies bedingt jedoch, dass die Knoten zu Mobilitätshubs weiterentwickelt werden, Verkehrsströme konsequenter gebündelt und die entsprechenden Angebote sauber standardisiert werden.

Die Umsetzung eines Schienenverkehrskonzeptes mit Erschliessung durch selbstfahrende Fahrzeuge erfordert subsidiär politische Lenkungsmaßnahmen, damit die gewünschten Wirkungen auch eintreffen. Im städtischen Gebiet und in dicht besiedelten Agglomerationen sind die Strassenkapazität und die Anzahl an Haltebuchten oder Parkplätzen zu reduzieren, wenn die mobile Bevölkerung auf die Bahn oder den Langsamverkehr gelenkt werden soll. So ist beispielsweise bei Bauten im städtischen Gebiet die Parkplatzpflicht in den Bauvorschriften aufzuheben.

In ländlichen Gebieten muss bei der Bevölkerung und den politischen Entscheidungsträgern ein Umdenken bezüglich der Bedeutung von Bahninfrastruktur stattfinden. In Zukunft wird nicht mehr zwingend die physische Präsenz von Bahninfrastruktur auf dem Gemeindegebiet sondern die effiziente und effektive Anbindung an einen regionalen Mobilitätshub den nationalen und regionalen Einbezug sicherstellen.

In einem nächsten Schritt müsste das vorliegende Schienenverkehrskonzept in einer mikroskopischen Verkehrssimulationssoftware auf seine Wirkung überprüft werden. Bis anhin konnte die Netzwerkeffizienz erst anhand der Fahrzeitdifferenzen, der Zugzahlen und der verfügbaren Sitzplätze überprüft werden. Um eine abschliessende Beurteilung vornehmen zu können, müssten die finanziellen Konsequenzen noch vertiefter abgeschätzt werden. Zudem wurde in der Arbeit unterstellt, dass die Nachfrage im Schienenverkehr trotz der Schliessung zahlreicher Betriebspunkte unverändert bleibt resp. sich auf die verbleibenden Bahnhöfe verteilt. Mit einer Verkehrssimulationssoftware kann unter Umständen die Nachfrageveränderung aufgrund des angepassten Schienenverkehrsangebotes untersucht werden und in die Schlussbewertung miteinfließen.

Zur Vereinfachung dieser Arbeit mussten viele Annahmen getroffen werden. Insbesondere beim Zeitpunkt der spürbaren Marktdurchdringung von selbstfahrenden Fahrzeugen sind sich die Fachexperten noch uneinig. Je nachdem wie schnell die Entwicklung fortschreitet und die Marktdurchdringung erfolgt, kann dies den Eisenbahnsektor unter unmittelbaren Veränderungszwang bringen. Je länger die Vorlaufzeiten bei einem Verkehrssystem sind, desto früher müssen die Einflüsse in Szenarien bei Investitionsentscheidungen mitberücksichtigt werden.

5.5 Handlungsempfehlung Bahn 2050

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für die langfristige Sicherstellung eines attraktiven ÖV-Angebotes das konsequente Hinterfragen der heutigen Einsatzgebiete von Eisenbahn, Bus und Tram wichtig ist. Insbesondere bei strategischen Verkehrsperspektiven sollten radikale Alternativkonzepte vertieft untersucht und auf ihre Vor- und Nachteile hin geprüft werden. Bei sämtlichen Überlegungen muss das Potential neuer Technologien gezielt in die Angebotsentwicklung integriert werden. So können selbstfahrende Fahrzeuge insbesondere in ländlichen Gebieten einen Beitrag zur effizienten und effektiven Sicherstellung der Grundversorgung leisten. Der Rückbau von Bahninfrastruktur darf kein Tabu mehr sein.

In Zukunft ist es notwendig, die Mobilität als Gesamtzusammenhang von Fahrzeugen, technischer Infrastruktur, organisatorischen Konzepten, intermodalen Verkehrsansätzen und Betreibermodellen zu konzipieren. Umsteigeknoten, sogenannte Mobilitätshubs, werden eine entscheidende Rolle in der Vernetzung der Verkehrssysteme und -modi einnehmen.

Abbildung 21 Handlungsempfehlung Bahn 2050



Quelle: Eigene Darstellung

6 Literaturverzeichnis

- Ahrens, G., T. Aurich, T. Böhmer, J. Klotzsch und A. Pitrone (2010) Interdependenzen zwischen Fahrrad- und ÖPNV-Nutzung – Analysen, Strategien und Massnahmen einer integrierten Förderung in Städten. Endbericht. Dresden.
- Bätzner, A. N. (2016) Integrierte, Intermodale Mobilitätswelt von Morgen: Raumplanerische, ökonomische und soziale Herausforderungen und Chancen, Vortrag, 3. Trainee Alumni Konferenz, Zürich, November 2016.
- Beglinger, C. (2015) Öffentlicher Verkehr, Historisches Lexikon der Schweiz, <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D7965.php>, Juni 2017.
- Black, W. (2000) An Unpopular Essay on Transportation. Douglas Fleming lecture, presented at the meeting of the Association of American geographers, Pittsburg, Pennsylvania.
- Briegel, R. (2006) Nachhaltige Freizeitmobilität? – Ein dynamisches akteurorientiertes Simulationsmodell, Metropolis Verlag, Marburg.
- Bundesamt für Statistik (2017) Glossar, EDI, Bundesamt für Statistik (BFS), Bern, <https://www.media-stat.admin.ch/web/apps/glossary/>, Mai 2017.
- Bundesamt für Statistik (2014) Neue statistische Agglomerations- und Stadtdefinition 2012, Medienmitteilung, EDI, Bundesamt für Statistik (BFS), Bern, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/>, Mai 2017.
- Bundesamt für Verkehr (2014) Öffentlicher Verkehr – für die Schweiz Strategie BAV 2014, UVEK, Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern.
- Deffner, J., T. Hefter und K. Götz (2014) Multioptionalität auf dem Vormarsch? Veränderte Mobilitätswünsche und technische Innovationen als neue Potenziale für einen multi-modalen Öffentlichen Verkehr. In: Oliver Schwedes (Hrsg.): Öffentliche Mobilität. Perspektiven für eine nachhaltige Verkehrsentwicklung, Springer VS, Wiesbaden.
- Dennisen, T., S. Kritzing, S. Altenburg und A. auf der Maur (2016) Gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr bis 2040: Schlussbericht zum Projekt im Kontext der Schweizerischen Verkehrsperspektiven 2040 Grundlagen, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), UVEK, Bern.
- Energie Schweiz (2015) Energieverbrauch in der Schweiz und weltweit, Faktenblatt Nr. 4, Bundesamt für Energie (BFE), UVEK, Bern.
- European Union (2017) EU transport in figures, Statistical pocketbook 2009-2017, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/>, Juni 2017.
- Frick, K. und D. Tenger, (2015) Smart Home 2030: Wie die Digitalisierung das Bauen und Wohnen verändert. Gottlieb Duttweiler Institut (GDI), Rüslikon.

- Froböse, F. und M. Kühne (2013) *Mobilität 2025 – Unterwegs in der Zukunft*, Gottlieb Duttweiler Institut (GDI), Rüschlikon.
- Handels- und Industrieverein des Kantons Bern (2017) *Energie aktuell, Energiestrategie 2050 des Bundesrats*, Handels- und Industrieverein des Kantons Bern, Bern, <http://www.energie-aktuell.ch/Berner-Energieplattform/Themen/Energiestrategie-2050-des-Bundesrats>, Mai 2017.
- Howard, B. (2013) *Google: Self-Driving cars in 3-5 years. Feds: Not so fast*, Online Article (accessed 14.01.2014), <http://www.extremetech.com/extreme/147940-google-self-driving-cars-in-3-5-years-feds-not-so-fast>, Mai 2017.
- Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) (2011) *Mobilität junger Menschen im Wandel – multimodaler und weiblicher*, Institut für Mobilitätsforschung, München.
- Justen A. und N. Mathys (2016) *Verkehrsperspektiven 2040: Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz: Grundlagen*, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), UVEK, Bern.
- Kaiser, T. (2016) *Künstliche Intelligenz wird zum Turbo für unseren Wohlstand*, Welt N24, GmbH, Berlin, <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article159664635/Kuenstliche-Intelligenz-wird-zum-Turbo-fuer-unseren-Wohlstand.html>, August 2017.
- Kwiatkowski, M. (2016) *Chancen und Herausforderungen neuer Technologien und Lebensgewohnheiten für die Mobilität der Zukunft. Vortrag. Branchentagung «öV-Mobilität der Zukunft: attraktiv, kombiniert und finanziert»*, Olten, März 2016.
- Lang, N., M. Rüssmann, A. Mei-Pochtler, T. Dauner, S. Komiya, X. Mosquet und X. Doubara (2016) *Self-Driving-Vehicles-Robo-Taxis-and-the-Urban-Mobility-Revolution*, Boston Consulting Group, Boston.
- Lautenschütz, A.K. und B. Jeanneret (2016) *Lebensqualität in den Städten 2016*, City Statistics (Urban Audit), Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel.
- Lüdi, N. und M. Hauser (2012) *Consumer Value Monitor Food Wie Konsumenten in Zukunft essen wollen*, Gottlieb Duttweiler Institut (GDI), Rüschlikon.
- Merriam (2017) *Dictionary*, Merriam Webster Incorporated, Springfield, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/>, Mai 2017.
- Mui, C. (2013) *Fasten your seatbelts: Google's driverless car is worth trillions (Part 1)*, Online Article, <http://www.forbes.com/sites/chunkamui/>, Juni 2017.
- Nobis, C. (2007) *Multimodality: Facets and Causes of Sustainable Mobility Behavior*, German Aerospace Center – Institute of Transport Research, Berlin.
- Noeren, D., S. Reichert, S. Tönjes und T. Ernst (2013) *Neue Mobilität – Ein Ausblick zur urbanen Mobilität in vier Dekaden, Rahmenbedingungen für das Verbundprojekt*, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg.

- Oggier, P., A. Righetti und L. Bonnard (Hrsg.) (2001) Zerschneidung von Lebensräumen durch Verkehrsinfrastrukturen, COST 341, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bundesamt für Verkehr (BAV), Bundesamt für Strassen (ASTRA), UVEK, Bern.
- Perret C., A. Danalet und M. Kowald (2017) Verkehrsverhalten der Bevölkerung, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- Reutter, O., F. Rudolph und T. Koska (2016) Von der Auto-Stadt zu einer Stadt des Umweltverbunds: zehn Leitlinien zur Verkehrswende in Wuppertal, Impulspapier, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal, <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/6326>, Mai 2017.
- Rodrigue J.-P., C. Comtois und B. Slack (2017) The Geography of Transport Systems, 4th edition, Routledge, New York, <http://people.hofstra.edu/geotrans/>, Juni 2017.
- Schlesiger, C., S. Wettach, M. Haerder (2017) Wie viel Bahn können wir uns leisten? WirtschaftsWoche, Handelsblatt GmbH, Düsseldorf, <http://www.wiwo.de/unternehmen/deutsche-bahn-wie-viel-bahn-koennen-wir-uns-leisten-seite-5/5678982-5.html>, Juli 2017.
- Schweizerische Eidgenossenschaft (2016) Botschaft zur Finanzierung des Betriebs und des Substanzerhalts der Bahninfrastruktur in den Jahren 2017–2020, Bern, <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/43980.pdf>, Juli 2017.
- Schweizerische Bundesbahnen (2015) Passagierfrequenzen der Bahnhöfe und Haltestellen SBB gemäss Ein-Aussteiger Datenbank 2014, Stand November 2015, SBB Personenverkehr, Bern, <https://data.sbb.ch/explore/dataset/passagierfrequenz/?flg=de>, Juni 2017.
- Silberg, G. (2013) Self-driving cars: Are we ready?, White Paper, KPMG LLP, New York.
- Spektrum (2001) autogerechte Stadt, Lexikon der Geographie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Stölzle, W., U. Weidmann, T. Klaas-Wissing, J. Kupferschmid und B. Riegel (2015) Vision Mobilität Schweiz 2050. Work Report. Universität St. Gallen und Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, St. Gallen, Zürich.
- United Nations (2014) World Urbanization Prospects The 2014 Revision, Department of Economic and Social Affairs, UN, New York, <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.Pdf>, Mai 2017.
- Weidmann, U. (2016) Modul 3: Entwurf und Betrieb des öV. DAS Verkehrsingenieurwesen, Februar 2016 und April 2016, Vorlesungsskript, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Weidmann, U. (2015) Bahninfrastruktur (Verkehr II), Vorlesungsskript, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Weidmann, U. (2011) Systemdimensionierung und Kapazität, Ressourcendimensionierung und –einsatz, Vorlesungsskript, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.

Von der Ruhren, S., G. Rindsfuser, K.J. Beckmann, T. Kuhimhof, B. Chlond und D. Zumkeller (2003) Bestimmung multimodaler Personengruppen. Schlussbericht FR-Nr. 70.724/2003, Forschungsprogramm zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden, Aachen/Karlsruhe.

Zängler, T.W. (2000) Mikroanalyse des Mobilitätsverhaltens in Alltag und Freizeit, Springer, Berlin.

7 Glossar

Nachfolgend werden wichtige Begriffe in alphabetischer Reihenfolge spezifiziert.

Agglomerationen „sind Ansammlungen von Gemeinden mit städtischem Charakter mit insgesamt mehr als 20‘000 Einwohnern (inklusive Äquivalenten aus Logiernächten)“ (BFS, 2017). Das BFS unterscheidet innerhalb einer Agglomeration zwischen Kern- und Gürtelgemeinden. In der Schweiz leben insgesamt 5,9 Millionen Menschen in einer der 49 Agglomerationen. Dies entspricht 73 Prozent der Gesamtbevölkerung (BFS, 2014).

Autonome Fahrzeuge können mithilfe von Sensorik und der Interoperabilität relevanter Komponenten (On-Board Unit, Cloud und Infrastruktur) ohne menschliche Unterstützung ihre Umgebung wahrnehmen, ihre Position bestimmen, ein Ziel ansteuern und Kollisionen auf dem Weg vermeiden (Noeren et al., 2013). In der Literatur (Dennisen et al., 2016) wird zwischen vollautonomen und teilautonomen Fahrzeugen unterschieden. Teilautonome Fahrzeuge entsprechen der SAE-Stufe 3. Sie übernehmen in stark standardisierten, weniger komplexen Fahrsituationen die kompletten Fahraufgaben. Auf Nationalstrassen können so Potenziale in Bezug auf Verkehrssicherheit und optimierte Netzauslastung ausgeschöpft werden. Abseits des übergeordneten Netzes verhalten sich teilautonome Fahrzeuge wie herkömmliche Autos. Die Anwesenheit und Ansprechbarkeit eines fahrtüchtigen und fahrberechtigten Menschen ist jederzeit erforderlich. Ein autonomes Zirkulieren der Fahrzeuge ist ausgeschlossen. Vollautonome Fahrzeuge entsprechen den SAE-Stufen 4 und 5. Die Fahrzeuge können sich vollumfänglich autonom im Raum bewegen und übernehmen alle Fahraufgaben in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrsituation und äusseren Einflüssen. Dies ermöglicht auch einen Einsatz in städtischen Kontexten. Die Anwesenheit eines fahrtüchtigen Menschen ist nicht erforderlich. Dadurch können auch Fahruntüchtige oder Menschen ohne Fahrberechtigung (Kinder, Alte, Mobilitätseingeschränkte) befördert werden. Die Fahrzeuge ermöglichen damit innovative Konzepte für autonome Mobilitätsdienstleistungen (Dennisen et al., 2016).

Hardware bezeichnet die physischen Komponenten einer Sache. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit beinhaltet die Hardware konkret die Fahrbahn (Strasse, Trasse), die Zugangs- und Servicepunkte (Parkmöglichkeiten, Ladestationen, Bahnhöfe und Serviceanlagen) sowie das eigentliche Transportgefäss (Auto, Zug).

Intermodalität stammt ursprünglich aus dem Bereich des Gütertransports und fand erstmals in den 1960er Jahren in den USA mit der aufkommenden Containerisierung Verwendung. Als intermodaler Verkehr wird der Transport von Gütern in ein und derselben Ladeinheit mit

zwei oder mehreren Verkehrszweigen verstanden, wobei ein Wechsel der Ladeinheit, aber kein Umschlag der transportierten Güter erfolgt. Intermodale Verkehrskonzepte des Personenverkehrs, auch als kombinierte Mobilität bekannt, beinhalten die Möglichkeit über Umsteigepunkte während einer Reise direkt zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln zu wechseln. Aktuelle Beispiele sind: Park and Ride (P+R), Bike and Ride (B+R), P+P (Park and Pool) und K+R (Kiss and Ride) (Noeren et al., 2013) (Ahrens et al., 2010).

Langsamverkehr (LV) beinhaltet gemäss Mikrozensus 2015 (Perret et al., 2017) den Fuss- und Veloverkehr (inkl. E-Bikes).

Metropolräume sind Agglomerationsgruppen (in der Regel eine international bedeutsame Kernagglomeration und eine Gruppe weiterer Agglomerationen), die durch intensive Pendlerverflechtungen miteinander verbunden sind. Eine Agglomeration zählt dann zu einem Metropolraum, wenn mindestens 8,3% der dort wohnenden Erwerbstätigen in die Kernagglomeration pendeln. Die Schweiz zählt aktuell fünf Metropolräume (Zürich, Genève–Lausanne, Basel, Bern und Ticino Urbano) (BFS, 2017).

MIV steht für motorisierten Individualverkehr. Gemäss Mikrozensus 2015 (Perret et al., 2017) erfolgt die individuelle Fortbewegung mit folgenden Verkehrsmitteln: Personenwagen (=Auto), Motorräder, Kleinmotorräder und Mofas. Lastwagen, Car und Taxi sind nicht Bestandteil des MIV. Sie werden der Kategorie „übrige Verkehrsmittel“ zugeteilt.

Mobilität beschreibt allgemein die Beweglichkeit von Personen und Sachen. Dies ist sowohl in rein physischer Form (Sachen und Personen) als auch in geistiger oder sozialer Art (nur Personen) möglich. Nach dem Schema von Zängler wird in dieser Arbeit nur auf die physische/geographische Mobilität und ihre Unterkategorie „Mobilität von Personen“ eingegangen. Dabei wird nur der Bereich „Alltag und Freizeit“ behandelt. Migrations- oder auch Urlaubsmobilität als weitere Bereiche der „Mobilität von Personen“ sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit (Zängler, 2000).

Mobilitätshubs (=Umsteigeknoten) vernetzen Verkehrssysteme und- mittel intelligent auf der physischen Ebene. Sie ermöglichen eine einfache und komfortable Tür-zu-Tür-Verbindung. Je nach Hub-Ausgestaltung werden den Nutzern Zusatzangebote präsentiert (u.a. Pick-up-Stationen für Online-Bestellungen, TakeAway-Restaurations, Co-Working Spaces) (eigene Definition).

Modal Split ist die statistische Verteilung des Verkehrsaufkommens auf verschiedene Verkehrsmodi (Noeren et al., 2013).

Multimodalität beschreibt die grundsätzliche Möglichkeit, verschiedene Verkehrsmittel zu nutzen. Verkehrsteilnehmer, die unterschiedliche Verkehrsmittel innerhalb eines definierten Zeitraumes benutzen, werden als multimodal bezeichnet. Intermodalität wird auch als Sonderform der Multimodalität bezeichnet. Während Multimodalität die „Variation von Verkehrsmitteln“ bezeichnet, bezieht sich Intermodalität dementsprechend auf die „Verkettung von Verkehrsmitteln“ (Von der Ruhren et al., 2003).

ÖV steht für den öffentlichen Verkehr und subsumiert gemäss Mikrozensus 2010 (Perret et al., 2017) die Verkehrsmittel Tram, Bus, Postauto und Bahn. Taxi, Schiff, Seilbahn und Flugzeug sind nicht Bestandteil des ÖV und werden der Kategorie „übrige Verkehrsmittel“ zugeordnet.

Software bezeichnet die Komponenten, welche erforderlich sind, um eine Hardware sinnvoll zu nutzen. Sie beinhaltet einen Satz von Verfahren, Prozessen, Programmen und zugehöriger Dokumentation, welcher eine starke Assoziation zur Hardware hat (Merriam, 2017).

Unimodalität beschreibt das Gegenteil von Multimodalität. Es wird primär nur ein Verkehrsmodus genutzt (MIV oder ÖV). Es findet keine Variation von Verkehrsmitteln statt.

Verkehr resultiert aus der räumlichen Mobilität und ist ein „messbarer Durchfluss von transportierenden Einheiten (Verkehrsmittel) auf einem bestimmten Verkehrsweg (Strecke) oder aggregiert in einem geographischen Raum innerhalb einer zeitlichen Periode nach ihrer Art und ihrem Umfang“ (Zängler, 2000). Die Definition des Verkehrs hat demnach einen räumlichen Ansatz (Zängler, 2000). „Mobilität kann als Ursache von Verkehr betrachtet den“ (Briegel, 2000).

Verkehrsmittel braucht es damit Mobilität überhaupt zu Stande kommt. Es wird zwischen den spezifischen Arten PKW resp. LKW/Bus, Schiff, Zug und Flugzeug unterschieden.

Verkehrsmodus bezeichnet die Zusammenfassung von Verkehrsmittel in Gruppen. Die für diese Arbeit genutzten Verkehrsmodi sind der motorisierte Individualverkehr (MIV), der öffentliche Verkehr (ÖV) und der Langsamverkehr (LV).

Wetware ist als Begriff seit 1975 in Gebrauch. Er bezeichnet das menschliche Gehirn oder ein menschliches Wesen, welches mit einer Hard- und/oder Softwarelösung in seinem Umfeld interagiert (Merriam, 2017). Die Wetware setzt sich u.a. aus Werten, Bedürfnissen und Emotionen eines Menschen zusammen. Jeder Mensch hat bestimmte Werte verinnerlicht, an denen er sich orientiert, sein Umfeld beurteilt und sein Handeln danach ausrichtet. Durch die besagte Interaktion kann sich die Wetware über die Zeit verändern (Lüdi und Hauser, 2010).

Anhang

A 1 Datenverzeichnis

Strukturelle Attribute für Knoten im Raum Zürich–Ostschweiz (Gesamtliste)

Tabelle 22 Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (1/6)

Betriebspunkt	Durchschnittlicher Tagesverkehr DTV (Jahr 2014)	durchschnittlicher Werktagsverkehr DWV (Jahr 2014)
Zürich HB	396'300	441'400
Winterthur	91'500	105'200
Zürich Oerlikon	70'900	84'500
Zürich Stadelhofen	68'100	81'100
Zürich Hardbrücke	47'200	56'600
St. Gallen	47'100	52'900
Zürich Altstetten	32'100	39'900
Wetzikon	24'100	28'300
Chur	23'600	24'100
Uster	23'500	27'600
Zürich Flughafen	43'700	46'600
Rapperswil	21'700	23'600
Stettbach	19'900	24'000
Will	19'800	22'400
Dietikon	19'500	22'700
Thalwil	17'300	19'800
Bülach	17'200	20'000
Schaffhausen	17'000	19'200
Effretikon	16'600	19'300
Wädenswil	16'200	18'700
Weinfelden	15'500	17'700
Präffikon SZ	14'200	16'100
Zürich Enge	13'000	16'500
Frauenfeld	12'800	14'400
Landquart	12'400	12'300
Wallisellen	11'600	14'500
Schwerzenbach ZH	11'400	13'600
Sargans	11'300	12'100
Romanshorn	10'600	11'500
Gossau SG	10'100	11'000
Schlieren	10'100	12'000
Rüti ZH	9'800	11'200
Kreuzlingen	8'700	9'400
Dübendorf	8'600	10'100
Ziegelbrücke (Niederurnen)	8'500	9'100
Wattwil (nur DTV-Wert verfügbar)	8'480	-
Meilen	8'000	9'300
Oberglatt	7'700	8'900
Zürich Wiedikon	7'700	9'500
Affoltern am Albis	7'500	8'700
Horgen	7'400	8'900
Dietlikon	7'300	8'600

Tabelle 23 Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (2/6)

Betriebspunkt	Durchschnittlicher Tagesverkehr DTV (Jahr 2014)	durchschnittlicher Werktagsverkehr DWV (Jahr 2014)
Uznach	7'200	8'000
Regensdorf-Watt	6'100	7'000
Stäfa	5'500	6'500
Kloten	5'400	6'300
Bubikon	5'100	6'000
Männedorf	5'100	6'000
Nänikon-Greifensee	5'100	6'100
Küsnacht ZH	5'000	5'800
Oberwinterthur	5'000	6'000
Rorschach	5'000	5'200
Pfäffikon ZH	4'900	5'800
Bassersdorf	4'800	5'600
Glattbrugg	4'800	6'000
Uzwil	4'700	5'600
Jona	4'600	5'400
Buchs SG	4'500	5'100
Uetikon	4'500	5'500
Richterswil	4'400	5'200
Zürich Tiefenbrunnen	4'200	4'800
Birmensdorf ZH	4'000	4'600
Herrliberg-Feldmeilen	4'000	4'800
Zürich Affoltern	3'800	4'100
Heerbrugg	3'700	4'300
Bonstetten-Wettswil	3'600	4'200
Erlenbach ZH	3'600	4'200
Killwangen-Spreitenbach	3'600	4'200
Glanzenberg	3'400	4'000
Rümlang	3'400	4'000
Zürich Wipkingen	3'300	3'800
Flawil	3'200	3'800
Fehraltorf	3'100	3'700
Amriswil	3'000	3'300
Winterthur Seen	2'900	3'400
Hinwil	2'800	3'200
Lachen	2'800	3'300
Opfikon	2'800	3'400
Glarus	2'700	3'200
Siebnen-Wangen	2'700	3'100
St. Margrethen	2'600	2'800
Buchs-Dällikon	2'500	3'100
Rüschlikon	2'500	3'000
Embrach-Rorbach	2'400	2'900
Kilchberg	2'400	2'900
St. Gallen St. Fiden	2'400	2'800
Zürich Wollishofen	2'400	2'700
Dielsdorf	2'300	2'700
Urdorf	2'300	2'700
Bad Ragaz	2'200	2'500
Hedingen	2'200	2'600
Rorschach Stadt	2'200	2'500
Stein am Rhein	2'200	2'400
Urdorf Weihermatt	2'200	2'500
Altstätten SG	2'100	2'400
Andelfingen	2'100	2'500

Tabelle 24 Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (3/6)

Betriebspunkt	Durchschnittlicher Tagesverkehr DTV (Jahr 2014)	durchschnittlicher Werktagsverkehr DWV (Jahr 2014)
Rheineck	2'100	2'300
Uerikon	2'000	2'400
Illnau	1'900	2'200
Mettmenstetten	1'900	2'200
Horgen Oberdorf	1'800	2'200
Niederhasli	1'800	2'100
Seuzach	1'800	2'200
Aadorf	1'700	2'000
Kempten	1'700	2'000
Kloten Balsberg	1'700	2'100
Marthalen	1'700	1'900
Rafz	1'700	2'000
Winterthur Grüze	1'700	2'100
Arbon	1'600	1'700
Elgg	1'600	1'800
Küsnacht Goldbach	1'600	2'000
Eglisau	1'500	1'800
Henggart	1'500	1'700
Kreuzlingen Hafen	1'500	1'700
Näfels-Mollis	1'500	1'700
Neuhausen	1'500	1'700
Schmerikon	1'500	1'600
Zürich Seebach	1'500	1'700
Pfungen-Neftenbach	1'400	1'700
Walenstadt	1'400	1'500
Goldach	1'300	1'500
Kollbrunn	1'300	1'500
Oberrieden Dorf	1'300	1'600
Otelfingen	1'300	1'500
Rorschach Hafen	1'300	1'400
Schwanden	1'300	1'500
Winkel am Zürichsee	1'300	1'500
Winterthur Wallrütli	1'300	1'500
Eschlikon	1'200	1'400
Feldbach	1'200	1'400
Rickenbach-Attikon	1'200	1'400
Sulgen	1'200	1'400
Turbenthal	1'200	1'400
Au ZH	1'100	1'200
Bütschwil	1'100	1'300
Diessenhofen	1'100	1'200
Hüntwangen-Wil	1'100	1'400
Niederglatt	1'100	1'400
Schöfflisdorf-Oberweningen	1'100	1'300
St. Gallen Winkeln	1'100	1'300
Zollikon	1'100	1'300
Oberrieden	1'000	1'100
Steinhausen	1'000	1'200
Bazenheid	980	1'200
Knonau	980	1'100
Dachsen	950	1'000
Steinmaur	940	1'100
Bischofszell Stadt	920	1'100
Steckborn	910	1'000

Tabelle 25 Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (4/6)

Betriebspunkt	Durchschnittlicher Tagesverkehr DTV (Jahr 2014)	durchschnittlicher Werktagsverkehr DWV (Jahr 2014)
Glattfelden	900	1'000
Kempraten	850	990
Rikon	840	960
Islikon	810	930
Altendorf	800	940
Netstal	800	930
Otelfingen Rietholz	790	1'000
Niederweningen	780	920
Würenlos	780	920
Aathal	770	860
Wald	770	870
Maienfeld	760	850
Wiesendangen	760	880
Niederweningen Dorf	750	890
Bürglen	730	850
Ermatingen	730	780
Sirnach	730	820
Bauma	700	730
Steinhausen Rigiblick	680	890
Tägerwilen-Gottlieben	660	740
Hettlingen	650	750
Staad	630	690
Winterthur Töss	630	720
Kempthal	600	690
Wila	600	680
Rämismühle-Zell	590	670
Räterschen	590	670
Müllheim-Wigoltingen	560	640
Münsterlingen Spital	560	680
Sennhof-Kyburg	560	630
Stammheim	560	640
Jestetten	550	700
Winterthur Wülflingen	510	610
Horn	500	560
Erlen	490	560
Schänis	490	570
Winterthur Hegi	490	570
Felben-Wellhausen	480	560
Flums	470	520
Nieder- und Oberumen	470	560
Kradolf	460	540
Ossingen	460	510
Steinach	450	500
Bäch	440	510
Freienbach SBB	420	490
Reichenburg	410	470
Uttwil	410	440
Altnau	400	410
Bussnang	400	560
Märstetten	400	460
Blumenau	390	460
Schottikon	390	440
Berg	380	440
Schübelbach-Buttikon	380	430

Tabelle 26 Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (5/6)

Betriebspunkt	Durchschnittlicher Tagesverkehr DTV (Jahr 2014)	durchschnittlicher Werktagsverkehr DWV (Jahr 2014)
Guntershausen	370	420
Schloss Laufen am Rheinfall	370	320
Unterterzen	370	310
Luchsingen-Hätzingen	360	410
Linthal	340	350
Benken	320	380
Bilten	320	360
Güttingen	320	330
Mittlödi	320	360
Egnach	310	330
Reutlingen	310	360
Feuerthalen	300	330
Münsterlingen-Scherzingen	300	320
Linthal Braunwaldbahn	300	250
Au SG	290	330
Berlingen	290	310
Mammern	290	300
Kreuzlingen Bernrain	280	340
Mörschwil	270	280
Schlatt	270	310
Tägerwilen Dorf	270	310
Eschenz	260	280
Kaiserstuhl AG	260	290
Kesswil	260	270
Landschlacht	260	270
Hauptwil	250	290
St. Gallen Bruggen	250	280
Tobel-Affeltrangen	250	300
Bottighofen	240	260
Gibswil	240	270
Schlattingen	240	270
Dietfurt	230	260
Lengwil	230	260
Mannenbach-Salenstein	230	230
Rebstein-Marbach	230	260
Langwiesen	220	240
Märwil	220	270
Arnegg	210	240
Saland	210	230
Steg	210	210
Bettwiesen	200	240
Bischofszell Nord	200	250
Lütisburg	200	230
Etwilen	190	200
St. Katharimental	190	220
Dinhard	180	190
Lottstetten	180	220
Rekingen AG	180	200
Rüti GL	180	210
Hüttlingen-Mettendorf	170	190
Nidfurn-Haslen	170	180
Tann-Dürnten	160	190
Bronschhofen	150	180
Thalheim-Altikon	150	160

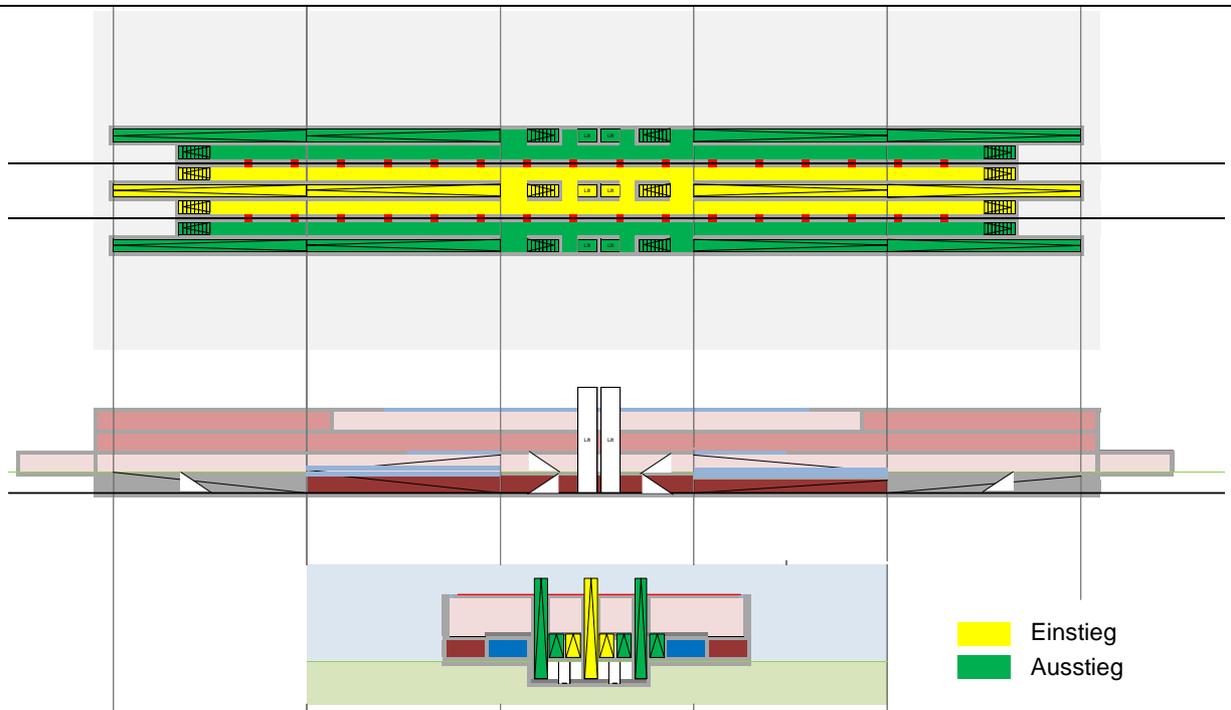
Tabelle 27 Strukturelle Attribute für Knoten im Untersuchungsgebiet (6/6)

Betriebspunkt	Durchschnittlicher Tagesverkehr DTV (Jahr 2014)	durchschnittlicher Werktagsverkehr DWV (Jahr 2014)
Kehlhof	140	160
Sitterdorf	140	160
Fiscenthal	130	140
Oberaach	130	140
Siegershausen	130	150
Bronschhofen AMP	120	140
Diesbach-Betschwanden	120	130
Zweidlen	100	120
Tägerschen	90	100
Triboltingen	80	80
Mellikon	70	80
Leuggelbach	60	60
Oppikon	50	50
Rümikon AG	50	Quel

Quelle: Schweizerische Bundesbahnen, 2015

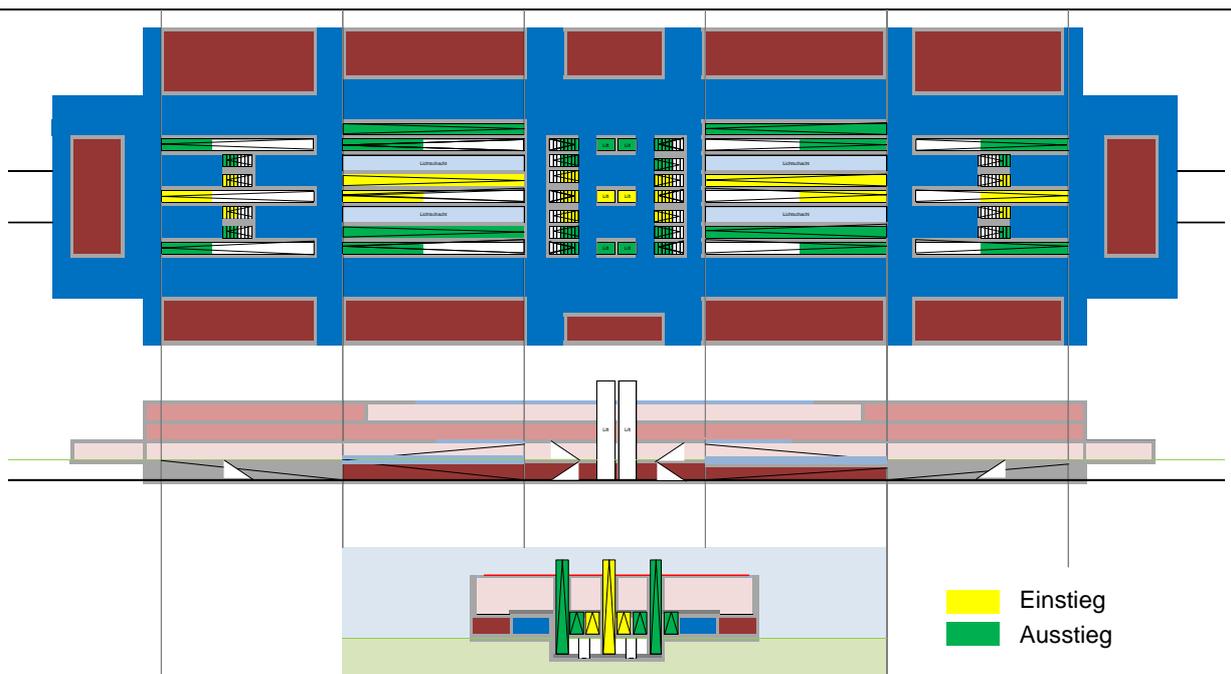
A 2 Topologie und Betriebskonzept von Mobilitätshub 1800

Abbildung 22 Mobilitätshub 1800: Ebene -1 „Schienenverkehr“



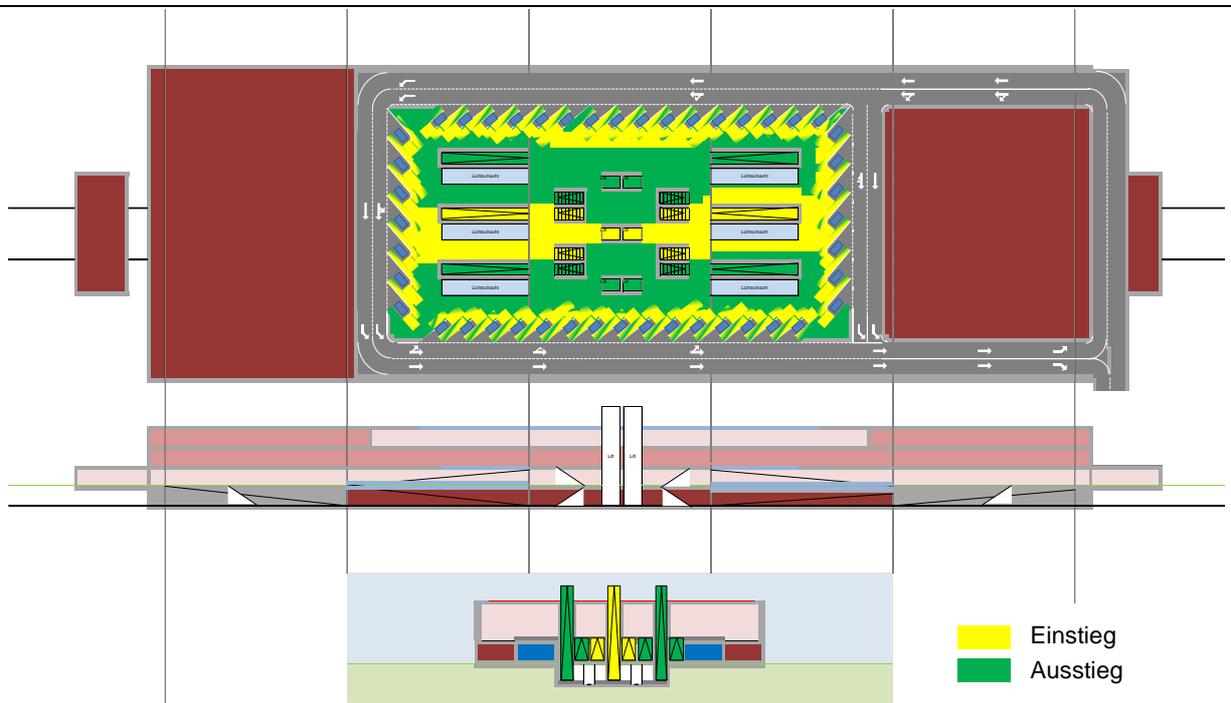
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 23 Mobilitätshub 1800: Ebene 0, „Langsamverkehr“



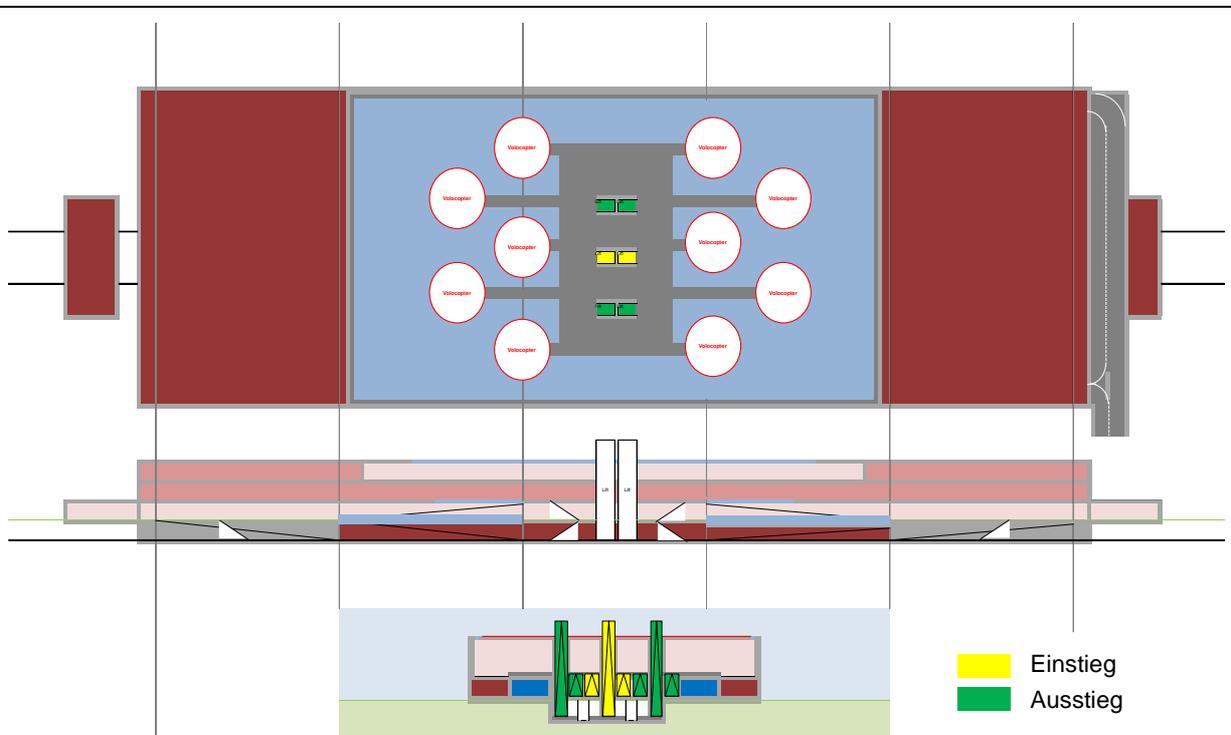
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 24 Mobilitätshub 1800: Ebene 1, „motorisierter Individualverkehr“



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 25 Mobilitätshub1800: Ebene 2, Option „Luftverkehr“



Quelle: Eigene Darstellung

Eigenständigkeitserklärung

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch den Betreuer der Arbeit, Prof. Dr. Ulrich Weidmann.

Bern, den 10. September 2017

Felix Lutz