

Luzern, 11. April 2018
Seite 1/88

Projektbericht

Institut für Tourismuswirtschaft ITW
Dr. Roger Sonderegger
Dozent

T direkt +41 41 228 42 18
roger.sonderegger@hslu.ch

Luzern, 11. April 2018
Seite 1/88

Selbstfahrende Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr Neue Geschäftsmodelle für die SBB im ländlichen Raum?

Hochschule Luzern – Wirtschaft

Roger Sonderegger, Dr. rer. nat.

Jonas Frölicher, MSc

Sebastian Imhof, MSc

Widar von Arx, Prof. Dr. oec.

INFRAS, Zürich

Caspar Sträuli, Dipl. Ing. ETH

Jonas Stadler, MSc ETH Bau-Ing.

Markus Maibach, lic. oec.

KCW Consultants, Berlin

Christoph Schaaffkamp

Paula Ruoff

Luzern, 11. April 2018
Seite 2/88

Auftraggeber

Forschungsfonds der SBB (SBB Lab)

Abstract

Im vorliegenden Bericht wird aufgezeigt, dass selbstfahrende Fahrzeuge eine interessante Alternative zum traditionellen öffentlichen Verkehr in ländlichen Regionen bieten könnten. Anhand der Untersuchungsregion Tösstal wird berechnet, dass eine Flotte gesharter und zentral gesteuerter Minivans sogar dann ein kostendeckendes Tür-zu-Tür-Angebot bereit stellen kann, wenn die Nachfrage nur marginal höher und die Preise gleich wie im heutigen ÖV liegen. Grössere Verkehrsprobleme sind auch trotz optimaler Disposition bei der Einfahrt in die Städte und an den grossen Umsteigeknoten zu erwarten. Diese können beispielsweise mit einem grösseren Bahnangebot in den Hauptverkehrszeiten gelöst werden. Statt einem kompletten Ersatz des öffentlichen Verkehrs mit selbstfahrenden Fahrzeugen bietet die Erhaltung der S-Bahn eine interessante Alternative an: ein kostendeckender Betrieb ist mit diesem Angebot ebenfalls möglich, die Verkehrsprobleme werden gelöst, und das Angebot ist für die Fahrgäste insgesamt sogar attraktiver. Für die SBB wird im Hinblick auf die Einführung von selbstfahrenden Fahrzeugen eine Kooperation mit Technologielieferanten und regionalen Busunternehmen als besonders interessantes Geschäftsmodell gesehen. In diesem Modell übernimmt die SBB insbesondere die Funktionen der Angebotsplanung. Für die Zukunft wird vorgeschlagen, neben der technischen Machbarkeit auch vermehrt zu diskutieren, welche Entwicklungen für die Fahrgäste und die Stadt- und Raumentwicklung wünschenswert sind.

Schlüsselworte

Selbstfahrende Fahrzeuge, Robovans, öffentlicher Verkehr, Kostendeckungsgrad, ländlicher Raum.

Zitierungsvorschlag

Sonderegger, R.; Frölicher, J.; Imhof, S.; von Arx, W.; Sträuli, C.; Stadler, J.; Maibach, M. & Schaaffkamp, C. (2018): Selbstfahrende Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr - Neue Geschäftsmodelle für die SBB im ländlichen Raum? Luzern: Hochschule Luzern.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	9
1.1	Ziele des Forschungsprojekts	9
1.2	Untersuchungsgebiet Tösstal.....	10
2	Selbstfahrende Fahrzeuge als neuer Player im ÖV-Markt.....	13
2.1	Stand der technischen Entwicklung	13
2.2	Potenziale autonomer Fahrzeuge	15
2.3	Fazit	17
2.4	Forschungslücke	17
2.4.1	Fokus auf ländlichen Raum	17
2.4.2	Kombination von privaten und öffentlichen Verkehrsmitteln	17
2.4.3	Anbieter und Geschäftsmodelle	17
2.5	Forschungsfragen	18
3	Methoden	19
3.1	Schritt 1: Erstellung von vier (teil-)automatisierten Angebotskonzepten	19
3.2	Schritt 2: Abschätzung von Nachfrage, Kosten und Erträgen	20
3.3	Schritt 3: Auswirkungen auf die S-Bahn und den Fernverkehr.....	21
3.4	Schritt 4: Unternehmerische Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse	22
3.5	Schritt 5: Identifikation und Bewertung von Geschäftsmodellen für die SBB.....	22
4	Resultate der Variantenberechnungen.....	23
4.1	Referenzvariante.....	23
4.1.1	Angebotskonzept.....	24
4.1.2	Nachfrage	24
4.1.3	Kosten und Erträge.....	25
4.2	Variante 1: Selbstfahrender Bahn- und Busbetrieb	26
4.2.1	Angebotskonzept.....	26
4.2.2	Nachfrage	26
4.2.3	Kosten und Erträge.....	26
4.3	Variante 2: Selbstfahrender Busbetrieb ohne Bahnangebot	27
4.3.1	Angebotskonzept.....	27
4.3.2	Nachfrage	30
4.3.3	Kosten und Erträge.....	31
4.4	Variante 3: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bahn und Bus	32
4.4.1	Angebotskonzept.....	32
4.4.2	Nachfrage	33
4.4.3	Flottengrösse.....	33
4.4.4	Kosten und Erträge.....	34
4.4.5	Investitionen in die Flotte.....	35
4.4.6	Robustheit bzw. Sensitivitäten.....	35
4.5	Variante 4: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bus und S26 fährt autonom.....	37
4.5.1	Angebotskonzept.....	38
4.5.2	Nachfrage	39
4.5.3	Flottengrösse.....	39
4.5.4	Kosten und Erträge.....	40
4.5.5	Investitionen in die Flotte.....	41

4.5.6	Robustheit bzw. Sensitivitäten.....	41
4.6	Vergleich der fünf Varianten.....	42
4.7	Methodische Limitierungen	43
5	Auswirkungen auf die S-Bahn und den Fernverkehr	44
5.1	Situation an den Umsteigehubs in Variante 3	44
5.1.1	Verkehrsprobleme am Beispiel Sennhof-Kyburg.....	45
5.1.2	Winterthur (Fernverkehr)	46
5.1.3	Handlungsansätze.....	47
5.1.4	Fazit.....	48
5.2	Situation an den Umsteigehubs in Variante 4	49
5.3	Weitere Auswirkungen	51
6	Unternehmerische Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse	52
6.1	Referenzvariante.....	52
6.2	Variante 1: Selbstfahrender Bahn- und Busbetrieb	53
6.3	Variante 2: Selbstfahrender Busbetrieb ohne Bahnangebot	53
6.4	Variante 3: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bahn und Bus	54
6.5	Variante 4: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bus und S26 fährt autonom.....	56
7	Rollen und Geschäftsmodelle für die SBB	59
7.1	Referenzvariante, Variante 1 und 2	59
7.2	Mögliche Formen der Marktorganisation (Regulierung) in den Varianten 3 und 4	60
7.3	Mögliche Geschäftsmodelle für die SBB	63
7.3.1	SBB als Komplettanbieterin	63
7.3.2	SBB als Kooperationspartnerin.....	64
7.3.3	SBB als Plattform.....	64
7.3.4	SBB als Fuhrhalterin	64
7.4	Bewertung der Geschäftsmodelle	64
7.5	Weitere mögliche Geschäftsmodelle	68
7.5.1	Die SBB als Anbieterin von Bussen im Linienbetrieb	68
7.5.2	Die SBB als Anbieterin von ÖV, Taxi und Tixi	68
7.5.3	Weitere Dienstleistungen.....	69
8	Fazit und Handlungsempfehlungen.....	71
8.1	Lessons Learnt: Resultate und Herausforderungen in ländlichen Gebieten.....	72
8.2	Systemmigration zu selbstfahrenden Fahrzeugen.....	74
8.3	Übertragbarkeit auf andere Regionen in der Schweiz.....	75
8.4	Handlungsempfehlungen für die SBB	76
8.5	Offene Fragen und Forschungsbedarf.....	79
	Quellenverzeichnis.....	80
	Anhang.....	82
	Anhang A: ZVV-Liniennetzplan	82
	Anhang B: Detaillierte Kostenzahlen	83
	Anhang C: Liste nicht rentabler Linien	85

Luzern, 11. April 2018
Seite 5/88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bevölkerung, Motorisierungsgrad und ÖV-Nachfrage im Tösstal.....	12
Tabelle 2: Potenziale, Risiken, Treiber und Hemmnisse bezüglich SFF auf Systemebene	16
Tabelle 3: Charakterisierung der Varianten	19
Tabelle 4: Kosten und Erträge der Referenzvariante.....	25
Tabelle 5: Kosten und Erträge der Variante 1	26
Tabelle 6: Fahrzeitbestimmung	29
Tabelle 7: Kosten und Erträge der Variante 2.....	31
Tabelle 8: Kosten und Erträge der Variante 3.....	34
Tabelle 9: Sensitivitätsanalyse für Variante 3.....	36
Tabelle 10: Kosten und Erträge der Variante 4.....	40
Tabelle 11: Sensitivitätsanalyse für Variante 4.....	41
Tabelle 12: Vergleich der fünf Varianten	42
Tabelle 13: Anzahl Fahrgäste am Hub in der Abendspitzenstunde bei Variante 3	44
Tabelle 14: Anzahl Fahrgäste an den Hubs und Stationen in der Abendspitzenstunde (Variante 4).....	49
Tabelle 15: Potenziale, Risiken, Treiber und Hemmnisse Referenzvariante	52
Tabelle 16: Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse Variante 1	53
Tabelle 17: Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse Variante 2.....	54
Tabelle 18: Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse Variante 3.....	56
Tabelle 19: Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse Variante 4.....	58
Tabelle 20: Wertschöpfungsstufen und mögliche Geschäftsmodelle	63
Tabelle 21: Dimensionen und Kriterien für die Bewertung der Geschäftsmodelle im Tösstal.....	65
Tabelle 22: Faktoren für die Identifikation von weiteren potenziellen Regionen	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet Tösstal	10
Abbildung 2: Untersuchungsregion mit Bahnangebot.....	11
Abbildung 3: Stufen und Begriffe der Automatisierung nach VDA	13
Abbildung 4: Gewähltes methodische Vorgehen	19
Abbildung 5: Belastungsplots des öffentlichen Verkehr in der Untersuchungsregion.	23
Abbildung 6: Referenzvariante (Netzgrafik Stand 2013)	24
Abbildung 7: Neues Buskonzept für die Variante 2.....	28
Abbildung 8: Kostendeckungsgrad der fünf Varianten	42
Abbildung 9: Bedeutung der Hubs in der Abendspitze (Variante 3).....	45
Abbildung 10 Bedeutung der Hubs in der Abendspitze (Vergleich der Varianten 3 und 4).....	50
Abbildung 11: Bewertung der Geschäftsmodelle.....	66
Abbildung 12 Konzept «Rinspeed Snap»	70

Luzern, 11. April 2018
Seite 6/88

Abkürzungsverzeichnis

AB	Appenzeller Bahnen AG
asm	Aare Seeland mobil AG
ASP	Abendspitze
BDWM	BDWM Transport AG
BLS	BLS AG
bzw.	beziehungsweise
CJ	Chemins de fer du Jura
CO ₂	Kohlendioxid
DB	Deutsche Bahn AG
DV	Direkter Verkehr
DWV	durchschnittlicher Werktagsverkehr
FART	Ferrovie Autolinee Regionali Ticinesi SA
Fg	Fahrgäste
FLP	Ferrovie Luganesi SA
FV	Fernverkehr
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GTW	Gelenktriebwagen
GVM	Gesamtverkehrsmodell
KR	Kantonsrat
KTU	Konzessionierte Transportunternehmung
HVZ	Hauptverkehrszeiten
ICT	information and communications technology
LEB	Chemin de Fer Lausanne-Echallens-Bercher
LV	Langsamverkehr (Mobilität zu Fuss und mit dem Velo)
MBC	Transports de la région Morges Bière Cossonay SA
MGB	Matterhorn-Gotthard-Bahn
MIB	Meiringen-Innertkirchen-Bahn
MIV	Motorisierter Individualverkehr (Autos und Motorräder)
MOB	Montreux-Berner Oberland-Bahn
MVR	Transports Montreux–Vevey–Riviera SA
NStCM	Chemin de fer Nyon–St-Cergue–Morez
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PBG	Personenbeförderungsgesetz
PBV	Planungs- und Bauverordnung
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
P+R	Park+Ride
RA	RegionAlps
RB	Rigi Bahnen AG
RhB	Rhätische Bahn
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SFF	Selbstfahrende Fahrzeuge
SOB	Schweizerische Südostbahn AG
SVB	Städtische Verkehrsbetriebe Bern
SZU	Sihltal Zürich Uetliberg Bahn
THURBO	Regionalbahn Thurbo AG
TMR	Transports de Martigny et Régions
TPC	Transports Publics du Chablais
TPF	Freiburgische Verkehrsbetriebe AG
TPG	Transports publics genevois
TRAVYS	Transports Vallée de Joux–Yverdon-les-Bains–Ste-Croix

Luzern, 11. April 2018
 Seite 7/88

TRN	Transports Publics Neuchâtelois SA
VBG	Verkehrsbetriebe Glattal AG
VDA	Verband deutscher Automobilhersteller
VDV	Verband deutscher Verkehrsunternehmen
WB	Waldenburgerbahn
WSB	Wynental- und Suhrentalbahn
zb	Zentralbahn

Glossar

Hub:	Umsteigeknotenpunkte, in diesem Projekt zwischen den selbstfahrenden Fahrzeugen und den S-Bahn-Linien
SFF:	Selbstfahrende Fahrzeuge (Oberbegriff für vollautomatische Fahrzeuge gemäss VDA)
SFA:	Selbstfahrende Autos: in diesem Projekt vollautomatisches Auto in Privatbesitz
SFB:	Selbstfahrende Busse: in diesem Projekt ein öffentlich zugänglicher Bus mit 30 Plätzen, elektrisch angetrieben (Varianten 1 und 2)
Robo-Taxi	Automatisch fahrende Limousine mit 4 Einzelsitzen. Ein Robotaxi bietet viel Privatsphäre und Raum. Je nach Nachfrage verkehrt das Robotaxi mit einem Fahrgast oder als Sammeltaxi mit mehreren Fahrgästen.
Robo-Van:	Automatisch fahrende, elektrische Kleinbusse mit 8 Einzelsitzen, die in einem Sharing-Konzept, über ein zentrales Flottenmanagement betrieben werden.
Personenfahrt:	Fahrt einer Person vom Einsteige- zum Aussteigeort mit oder ohne Umsteigen von einem Transportmittel in ein anderes.
Einsteigermalus:	Für einen neuen Passagier muss ein zusätzlicher Weg zurückgelegt werden. Es wurde hierzu jeweils pro Passagier eine vordefinierte Zeit bzw. Distanz hinzuge-rechnet.

Luzern, 11. April 2018
Seite 8/88

1 Einleitung

Selbstfahrende Fahrzeuge (SFF) sind seit vielen Jahren ein Thema im öffentlichen Verkehr. Diverse Beispiele für automatisierte spurgeführte Systeme belegen die Machbarkeit, z.B. bei London Dockland Railway, auf Flughäfen und bei der Metro Linie 2 in Lausanne. Auf der Strasse sind aktuell diverse Pilotprojekte in Gang, so z. B. der Postauto-Betrieb in Sion, eine neue Verbindung der tpf von Fribourg zum *Marly Innovation Center*, ein Versuch von SBB und diversen Partnern in Zug.

Der Hauptvorteil autonomer Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr (ÖV) sind die geringeren Betriebskosten (keine Entlohnung für Fahrer) und die hohe Verfügbarkeit bezüglich Takt und Betriebszeit. Im ländlichen Raum im Schweizer ÖV decken die Erlöse heute die Kosten bei weitem nicht (BAV 2015). Bahnen und Busse sind dafür zu schlecht ausgelastet. Das resultierende Defizit wird heute von der öffentlichen Hand bezahlt. In ländlichen Gebieten sind deswegen autonome Fahrzeuge für den ÖV besonders interessant. Entsprechend wird gemäss Meyer et al. (2016) der öffentliche Verkehr in ländlichen Räumen höchstwahrscheinlich zuerst durch autonome Fahrzeuge ersetzt.

Autonomes Fahren löst die derzeitigen Grenzen zwischen öffentlichem und individuellem Verkehr auf. Der öffentliche Verkehr wird individueller (Tür zu Tür) und flexibler („on demand“ bzw. auf individuelle Bestellung). Der Individualverkehr wird sicherer (menschliches Versagen als häufigster Unfallgrund entfällt), und die Fahrzeit kann dennoch wie im ÖV produktiv genutzt werden. Durch Autonomes Fahren eröffnen sich gänzlich neue Perspektiven für Mobilitätsanbieter.

1.1 Ziele des Forschungsprojekts

Vier Hauptziele stehen im Mittelpunkt dieses Forschungsprojekts.

1. Potenzial automatischer ÖV-Systeme im ländlichen Raum aufzeigen:
Für ein ländliches Gebiet sind die Auswirkungen einer Substitution des klassischen ÖV-Angebotes durch eine Flotte vollautomatisierter Fahrzeuge analysiert. Die Flottengrösse, die Kosten und Erträge und somit auch der Kostendeckungsgrad sind für die Untersuchungsregion Tösstal berechnet, Vorschläge für die Analyse anderer Regionen in der Schweiz sind formuliert.
2. Verkehrssituation an den Umsteigebahnhöfen untersuchen:
Wie präsentieren sich die Zufahrt sowie das Umsteigen von SFF auf den leistungsstarken ÖV, also S-Bahn und Fernverkehr? Die entsprechende Situation ist aus der Sicht der Fahrgäste und der Strasseneigentümer dargestellt, und mögliche Verkehrsprobleme sind identifiziert.
3. Geschäftsmodelle identifizieren und auf Attraktivität bewerten:
Neue Geschäftsmodelle sind formuliert, die mögliche Rolle der SBB darin erörtert und deren Attraktivität bewertet. Traditionelle, fahrplanbasierte Verkehrssysteme könnten in naher Zukunft zumindest teilweise überholt werden. Stärker individualisierte und weniger (oder gar nicht) subventionierte Dienstleistungen könnten auch von anderen Unternehmen angeboten werden als von traditionellen öffentlichen Verkehrsunternehmen.
4. Fehlinvestitionen vermeiden helfen:
Die Entwicklungen neuartiger Verkehrsangebote und deren Implikationen für Investitionen in die Schieneninfrastruktur sind beschrieben. Dadurch werden Informationen verfügbar gemacht, dank denen eventuell Fehlinvestitionen vermieden werden können. Verkehrsinfrastrukturen wie z.B. Schienen erfordern grosse und langfristig ausgerichtete Investitionen.

Luzern, 11. April 2018
Seite 10/88

1.2 Untersuchungsgebiet Tösstal

Zur Untersuchung der angesprochenen Zielsetzungen wird ein Fallstudienansatz gewählt; als Untersuchungsregion dient das Obere Tösstal. Damit wurde eine eher periphere Region im Kanton Zürich ausgesucht, die aber trotzdem über eine gewisse Nähe urbanen Zentren (insbesondere Winterthur) verfügt. So können einerseits die Effekte von Digitalisierung und Automatisierung in einem ländlichen Raum untersucht werden. Dies, weil die Autoren davon ausgehen, dass hier die Effekte besonders deutlich spürbar werden (siehe dazu Kapitel 2). Andererseits kann durch die vorhandene Vernetzung mit den leistungsstarken Systemen S-Bahn und Fernverkehr untersucht werden, wie der Übergang zwischen grossen Gefässen und kleineren selbstfahrenden Fahrzeugen aussehen könnte bzw. welche neuen Probleme sich daraus ergeben.

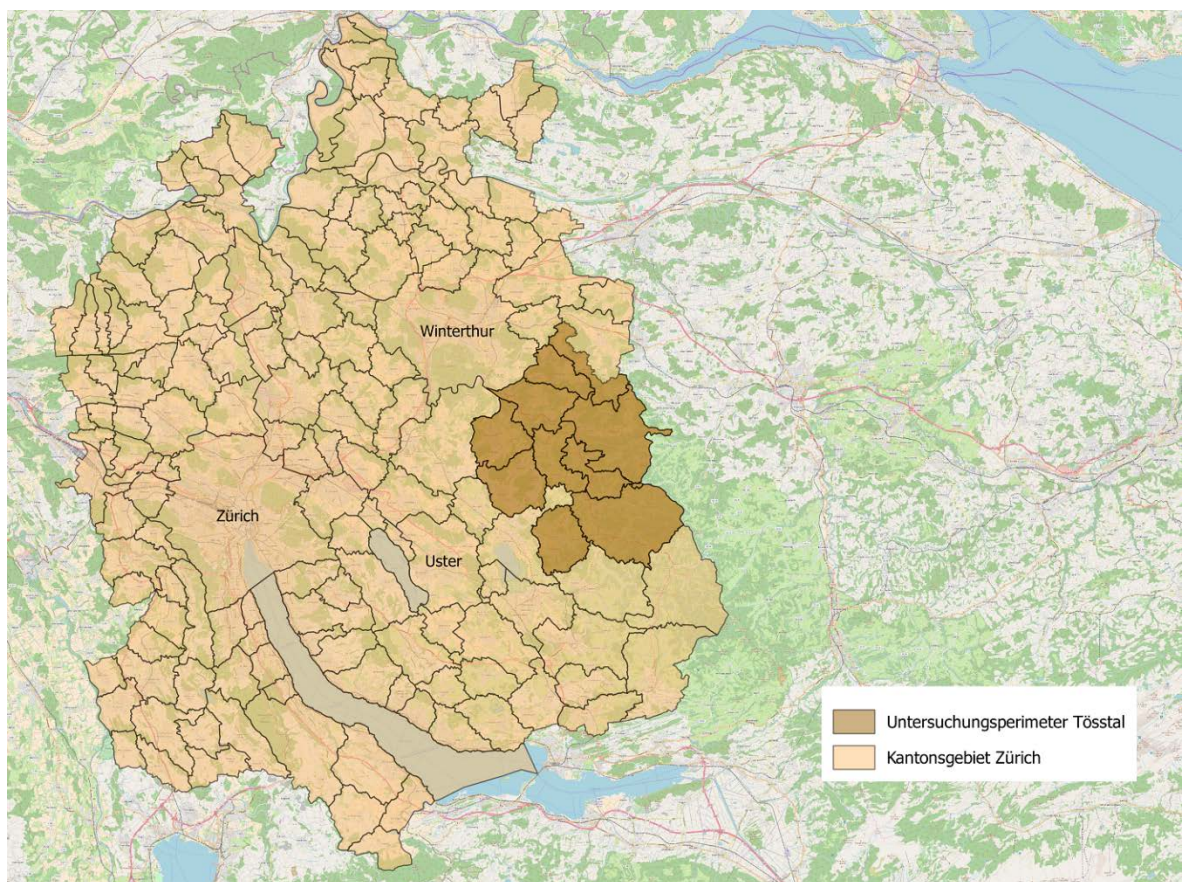


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet Tösstal

Quelle: eigene Darstellung; Hintergrund: Open Street Map

Der Vorteil bei der Wahl des Tösstals als Untersuchungsregion liegt in der relativ guten Abgrenzungsmöglichkeit der Region (vor allem durch die Topographie) und im relativ einfachen Aufbau des aktuellen Verkehrsangebots. Weil für das Tösstal keine offizielle Definition vorliegt¹, wurde basierend auf dem Netzplan des öffentlichen Verkehrs eine eigene Abgrenzung festgelegt. Diese umfasst die Gemeinden Hittnau, Russikon, Weisslingen, Wila, Wildberg, Hofstetten, Schlatt, Turbenthal, Zell und Bauma.

¹ Denkbar gewesen wäre ein Bezirk oder eine klare Zuordnung von Gemeinden zum Tösstal; dies ist jedoch nicht der Fall.

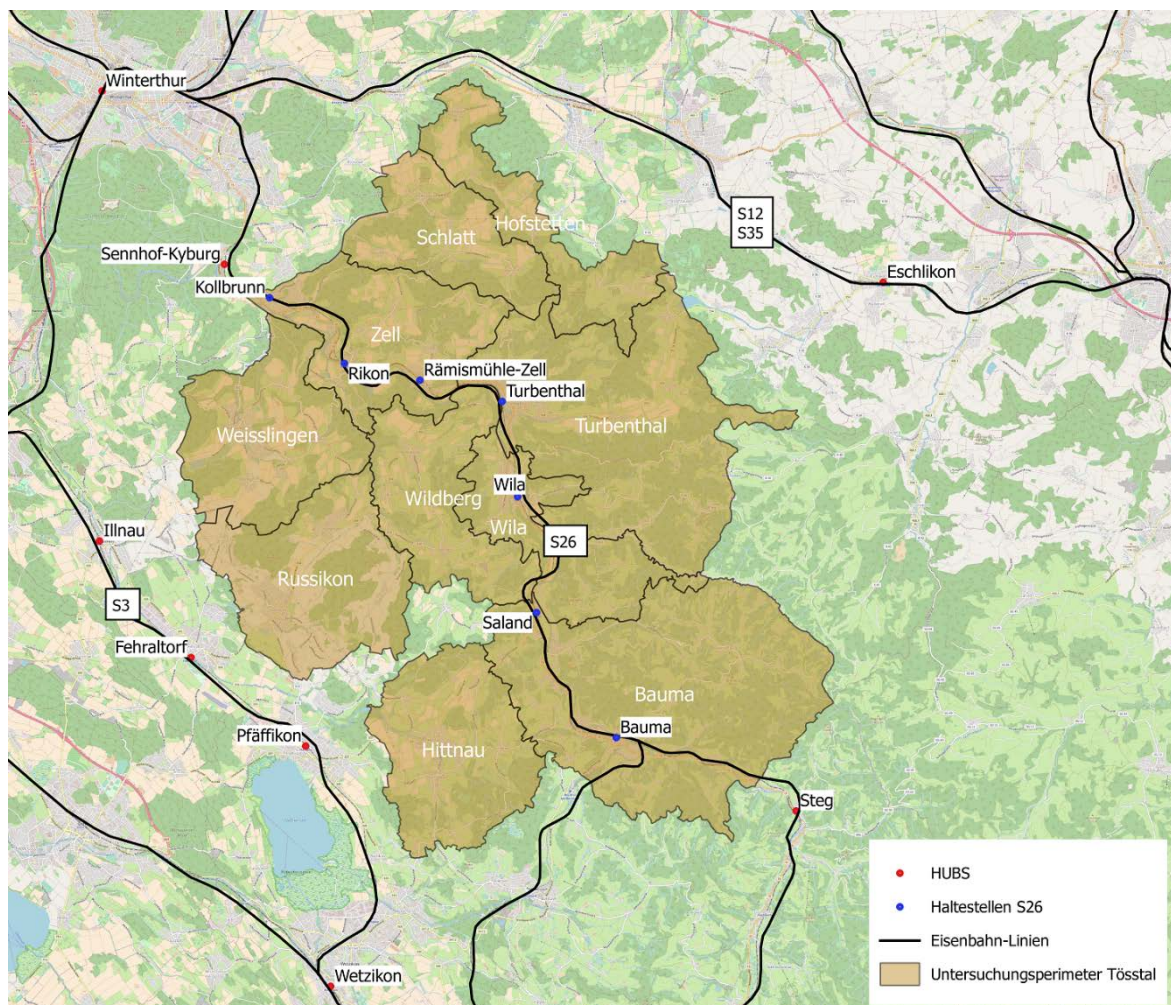


Abbildung 2: Untersuchungsregion mit Bahnangebot

Quelle: eigene Darstellung; Hintergrund: Open Street Map

Zum Projektperimeter gezählt werden somit der Streckenabschnitt Bahnlinie S26 zwischen Winterthur und Bauma und die Regionalbuslinien, die das Untersuchungsgebiet, ausgehend von den Bahnhöfen im Tösstal respektive den an der südwestlichen Grenze des Untersuchungsgebietes liegenden Bahnhöfen Wetzikon, Pfäffikon ZH, Fehraltorf und Illnau erschliessen. Die Bahnlinie S3 (Illnau-Pfäffikon-Wetzikon) gehört nicht zum Untersuchungsgebiet. Im Anhang findet sich eine detaillierte Netzgrafik mit allen bestehenden Linien.

Das Tösstal besteht somit gemäss eigener Definition aus zehn Gemeinden mit folgender Einwohnerzahl, folgendem Motorisierungsgrad (beides Jahr 2015) und folgender Nachfrage an Personenfahrten im ÖV und MIV pro durchschnittlichem Werktagsverkehr (DWV) im Jahr 2013.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 12/88

Tabelle 1: Bevölkerung, Motorisierungsgrad und ÖV-Nachfrage im Tösstal

Gemeinde	Bevölkerung	Motorfahrzeuge	Motorfzg./ 1000 EW	Nachfrage ÖV pro Wochetag	Nachfrage MIV pro Wochentag
Hittnau	3'608	2'981	82%	908	10'744
Russikon	4'282	3'482	83%	996	12'029
Weisslingen	3'255	2'634	81%	798	8'064
Wila	1'926	2'024	105%	562	5'241
Wildberg	1'006	711	72%	223	3'088
Hofstetten	481	538	112%	73	1'409
Schlatt	735	628	83%	197	2'177
Turbenthal	4'469	3'223	73%	1'281	11'207
Zell	5'690	4'051	71%	2'404	13'577
Bauma	4'837	4'304	91%	1'375	14'100
Total	30'289	24'576	85.3%	8'817	81'636

Quelle: eigene Darstellung. Daten zu Motorfahrzeugen und Bevölkerung: Statistisches Amt des Kantons Zürich

2 Selbstfahrende Fahrzeuge als neuer Player im ÖV-Markt

Viele Experten gehen davon aus, dass spätestens 2030 der Automobilverkehr zu einem grossen Teil automatisiert funktionieren wird (Meyer et al. 2016, Beckmann 2016). Der Verband der deutschen Automobilindustrie (VDA) geht ebenfalls von einem Zeithorizont von rund 10-15 Jahren aus. Bereits Stand der Technik sind heute autonomes Fahren auf der Autobahn und automatisches Parkieren. Die Einführung fahrerloser Systeme ausserhalb der Autobahnen allerdings wird mehr Zeit in Anspruch nehmen. Im Gegensatz zur Autobahn sind beispielsweise im städtischen Raum die Anzahl und die Heterogenität der möglichen Hindernisse viel grösser. Hinzu kommen erschwerte Navigationsbedingungen z.B. in Häuserschluchten. Der ehemalige Chef des Google Car-Projektes, Chris Urmson, sprach in diesem Zusammenhang von „hundertmal schwieriger“ (VDV 2015: 6).

2.1 Stand der technischen Entwicklung

Der Verband der deutschen Automobilindustrie unterscheidet fünf Stufen auf dem Weg zum Auto ohne Lenkrad. Für die Stufen 3, 4 und 5 in der untenstehenden Darstellung ist allerdings eine Anpassung des Wiener Übereinkommens über den Strassenverkehr notwendig. Dieses sieht in der heutigen Form vor, dass jedes Fahrzeug dauerhaft von einem Menschen gelenkt werden muss.² Eine Anpassung der entsprechenden Strassengesetzgebung ist in der Schweiz für 2018 geplant.

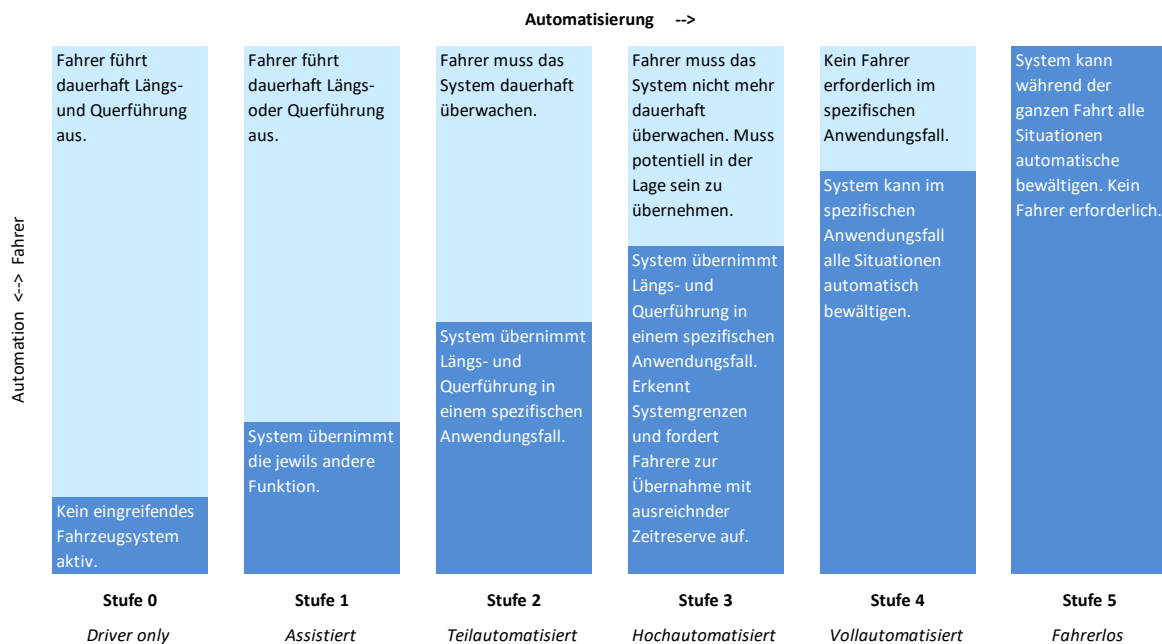


Abbildung 3: Stufen und Begriffe der Automatisierung nach VDA

Quelle: Verband der Automobilindustrie (VDA; Deutschland).

² Im Gegensatz zu den meisten europäischen Staaten haben die USA das Wiener Übereinkommen nicht ratifiziert und haben damit einen grösseren rechtlichen Spielraum bezüglich der Einführung selbstfahrender Fahrzeuge. Deutschland hat im vergangenen Herbst eine Änderung des Wiener Übereinkommens auf seinem Gebiet beschlossen, das die Einführung automatisierter Fahrsysteme erleichtert.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 14/88

Selbstfahrende Fahrzeuge könnten auch die Rolle des öffentlichen Verkehrs spürbar verändern. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) hat es in seinem Bericht zu den Chancen und Risiken autonomer Fahrzeuge mit den folgenden Worten zusammengefasst:

„Wohl kaum eine andere aktuelle Innovation besitzt das Potential, unsere Verkehrssysteme so tiefgreifend und dramatisch zu verändern wie diese!“ (VDV 2015: 3)

Zunächst bedeutet autonomes Fahren eine deutliche Qualitätssteigerung im Individualverkehr. Selbstfahrende Fahrzeuge machen den Fahrer überflüssig und ermöglichen damit eine ganz neue Art des Autofahrens, das sich ungefähr mit einem heutigen Auto, aber mit Chauffeur vergleichen lässt. Damit eröffnet sich einem breiten Publikum eine Qualität von Mobilität, die heute nur wenigen Personen vorenthalten ist. Neu können auch Personen ein eigenes Auto benutzen, die heute nicht selber fahren können oder dürfen, wie z.B. Kinder, Menschen ohne Führerschein oder vorübergehend fahruntüchtige Personen. Entsprechend wird das Privatauto im Vergleich zu heute deutlich attraktiver werden (Bösch et al. 2017: 22). Für den öffentlichen Verkehr bedeutet dies primär eine Bedrohung (VDV 2015: 3).

Allerdings wirkt sich die Digitalisierung auch im öffentlichen Verkehr aus. Hier ist nicht primär mit einer Qualitätssteigerung zu rechnen, sondern vielmehr mit einer Steigerung der Produktivität. Bei fahrerlosen Bussen wird beispielsweise bei unveränderter Leistung mit rund 50% tieferen Kosten gerechnet. Bei der Bahn hingegen beträgt die Effizienzsteigerung nur 5 bis 15%. Die Bahn gerät deshalb gegenüber dem Bus unter Druck.

Der fahrerlose Betrieb ermöglicht neue Angebotsformen. Weil die Kosten für den Chauffeur nicht mehr ins Gewicht fallen, können auch kleinere und damit flexiblere Gefässe fahren (Spieser et al. 2014). Mit Robotaxis (1-6 Personen) bzw. Robovans (bis 18 Personen) kommt eine neue mögliche Mobilitätsdienstleistung hinzu. In vielen Arbeiten zum Thema wird davon ausgegangen, dass sowohl Robotaxis auch als Robovans mehrheitlich geshart unterwegs sein werden (Spieser et al. 2014, Beckmann 2016). Wenn gesharte Autos in der Lage sind, zu einem Parkplatz zurückzukehren oder zu fahren, um den nächsten Kunden selbst abzuholen, dann bietet deren Nutzung ein ähnliches Komfortniveau wie private Autos – bei gleichzeitiger Anwendung der nachhaltigen Aspekte des öffentlichen Verkehrs (Spieser et al. 2014).

In jüngeren Forschungsprojekten wurde untersucht, wie gross eine Flotte selbstfahrender Fahrzeuge dimensioniert sein müsste, um die Nachfrage in städtischen Regionen bedienen zu können. Für Zürich, Lissabon und Singapur wurden beispielsweise komplexe Simulationen durchgeführt. Gemäss Bösch et al. (2016) könnte in der Agglomeration Zürich ein einziges selbstfahrendes Fahrzeug die Mobilität von 10 Personen abdecken. Voraussetzung dafür wäre allerdings eine kritische Mindestgrösse der Nachfrage, nämlich 10% der Bevölkerung. Für Lissabon wurde berechnet, dass 60'000 Autos und das gesamte öffentliche Verkehrssystem in einer Spitzenstunde durch 21'000 SFF plus einen leistungsstarken ÖV ersetzt werden könnten. Für dieses Modell wurden verschiedene Fahrzeuggrössen von 2 bis 8 Sitzen angenommen. Die Reisezeit würde um 13% sinken, wobei jedes Fahrzeug durchschnittlich 26.9 Personen am Tag transportiert. Im Fall von Lissabon zeigt ein SFF eine produktive Zeit von 31.9% (verglichen mit 3.2% bei einem privaten Auto, ARE / BFS 2012).

In ihrer Fallstudie für Singapur haben Spieser et al. (2014) eine Gesamtflottengrösse von nur rund 1/3 der heute registrierten PkW ermittelt. Bösch et al. (2016) weisen darauf hin, dass bei einer Wartezeit von bis zu 10 Minuten eine Reduktion von bis zu 90% der gesamten Fahrzeugflotte auch ohne aktives Flottenmanagement und Leerfahrten möglich ist.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 15/88

Solche eindrucklichen Effizienzgewinne hinsichtlich der Strassenkapazität und der Flottengrösse lassen sich allerdings nur dann realisieren, wenn der gesamte Transportbedarf von gesharten und selbstfahrenden Fahrzeugen unterschiedlicher Grösse bedient wird (Spieser et al. 2014, Meyer et al. 2016, ITF 2015). Die Umsetzbarkeit eines solchen Systems (und damit der komplette Verzicht auf private Fahrzeuge) in der Realität dürfte allerdings zumindest fraglich sein.

In einer Flotte betriebene SFF können die Erreichbarkeit einer Region deutlich verbessern. Damit sind solche Systeme auch in der Lage, ähnliche Effekte wie Infrastrukturinvestitionen zu erzielen – jedoch zu sehr viel günstigeren Preisen. Meyer et al. (2016) haben für die gesamte Schweiz berechnet, dass die vorhergesagte Verbesserung der Erreichbarkeit durch selbstfahrende Autos mit mehr als einem Jahrzehnt der Infrastrukturinvestitionen vergleichbar ist. Dieser Gewinn an Erreichbarkeit basiert dabei nicht wie die oben genannten Simulationen in städtischen Gebieten auf einer Umlegung der gesamten Verkehrsnachfrage, sondern nur auf einer Umlegung der ÖV-Nachfrage; sogar ohne Ride-Sharing-Systeme oder grössere Fahrzeuge wie autonome Busse (Meyer et al. 2016).

Allerdings wird die Erreichbarkeit dichter Städte, wie z.B. Zürich, wegen des steigenden Verkehrsaufkommens und den neu entstehenden Leerfahrten der SFF verschlechtert. In einem konservativen Szenario erleiden dichte Städte einen Erreichbarkeitsverlust von bis zu 29% (Meyer et al. 2016). Für die Agglomerationsräume aussrhalb der Kernstädte hingegen sind grosse Kapazitätsgewinne möglich, was in Flotten betriebene SFF im Vergleich zum Bau neuer Infrastrukturen sehr attraktiv macht. In sehr ländlichen Gebieten werden nur kleine Veränderungen erwartet, da voraussichtlich keine Kapazitätseinschränkungen bestehen.

2.2 Potenziale autonomer Fahrzeuge

An Konferenzen, in Fachberichten und Diskussionen wird die Einführung autonomer Fahrzeuge mit viel Technikenthusiasmus und relativ unkritisch behandelt. Trotz dem sehr grossen Potenzial der neuen Technologien lohnt sich jedoch eine umfassende und kritische Betrachtung. So wurden in der Schweiz in den vergangenen Jahren grosse Anstrengungen für eine Verdichtung der Siedlungen nach innen und eine Steigerung der Lebensqualität in den Städten unternommen. Selbstfahrende Fahrzeuge laufen diesen Bestrebungen zuwider, weil sie durch die alternative Nutzung der Zeit im Fahrzeug weitere Wege ermöglichen, was wiederum die Zersiedlung fördert. In den Städten und Agglomerationen entsteht unerwünschter Mehrverkehr – einerseits durch Umsteigeeffekte auf Autos, andererseits durch Leerfahrten, die es heute in dieser Form gar nicht gibt.

Eine allfällige technische Machbarkeit ist also noch nicht gleich zu setzen mit einer politischen und planerischen Erwünschtheit. Der öffentliche Verkehr behält nach wie vor seine Vorteile bezüglich Platz, Sicherheit, Lärm, Energieverbrauch, Zerschneidungswirkung und Gesundheit. Das Zusammenspiel von Politik, Planung und Anbieter muss sich also in dieser Frage auch an einem wünschenswerten Zustand in der Zukunft orientieren, nicht nur am technisch Machbaren. Die unten stehende Tabelle zeigt die Potenziale, Risiken, Treiber und die Hemmnisse bei der Einführung selbstfahrender Fahrzeuge in allgemeiner Perspektive auf.

Nach Meyer et al. (2016) machen selbstfahrende Fahrzeuge das Reisen potenziell "sicherer, billiger, komfortabler, nachhaltiger, und sie öffnen das Auto auch für Kinder, ältere Menschen und Behinderte". Aufgrund dieser Qualitätsverbesserungen – auch im Vergleich zum heutigen öffentlichen Verkehrssystem – "ist eine modale Verschiebung zu diesen Diensten zu erwarten". Für die Schweiz erwarten Meyer et al. (2016), dass eine intensive Nutzung von SFF die generellen Reisekosten erheblich senken wird und damit "eine neue Welle der Suburbanisierung und der Zersiedelung der

Luzern, 11. April 2018
 Seite 16/88

Stadt" stärken wird. Die Autoren kommen sogar zum Schluss, dass SFF die öffentlichen Verkehrssysteme ausserhalb dichter Stadtgebiete völlig überflüssig machen könnten.

Tabelle 2: Potenziale, Risiken, Treiber und Hemmnisse bezüglich SFF auf Systemebene

Potenziale SFF	Risiken SFF
<ul style="list-style-type: none"> - Deutliche Senkung der Verkehrsunfälle (über 90% der Unfälle sind Fahrfehler) - Fahrzeit produktiv nutzen - Höhere Fahrzeugdichte -> mehr Kapazität - Damit weniger Staus und weniger Stress - Weniger Parkierungsflächen dank kleinerer Gesamtflotte - Bei Verlagerung vom Privatverkehr Reduktion des Flächenbedarfs für den Verkehr 	<ul style="list-style-type: none"> - Zersiedlung (längere Pendlerwege möglich) - Verletzlichkeit (ein hoch vernetztes System ist anfällig auf Softwarepannen, Terror etc.) - Mehrverkehr (zwar flüssiger Verkehr und weniger Staus, dafür neu Leerfahrten) - Privatverkehr gewinnt Marktanteile - Impact auf die Urbanität durch Mehrverkehr
Treiber SFF	Hemmnisse SFF
<ul style="list-style-type: none"> - Digitalisierung - Konkurrenzierung der klassischen Autohersteller durch ICT-Firmen - Weniger Verkehrsunfälle - Zeitautonomie (andere Tätigkeiten während Fahrt; Möglichkeit, z.B. nachts zu reisen) - Zeitliche Entflechtung Güterverkehr und Personenverkehr (ersterer fährt öfter nachts) - Hohe Verfügbarkeit des Verkehrsangebotes (hoher Takt und lange Betriebszeiten) - Parkplatzknappheit in Städten - Tiefe Betriebskosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Kosten für den Ausbau der notwendigen Datenübertragung zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (5G-Netz) - Aufwendige und ethisch anspruchsvolle Verhandlungen über die Regulationshoheit und die Softwareeinstellungen - Automobilindustrie nicht motiviert (tiefere Absatzzahlen durch vermehrtes Teilen der Fahrzeuge) - Anspruchsvolle Übergangsphase bei verschiedenem Technologiestand (gelenkt, teilautomatisiert, vollautomatisiert). - Bemühungen der Städte, Verkehrsvolumen zu schrumpfen und den ÖV und den LV zu fördern bzw. Leerfahrten zu vermeiden

Luzern, 11. April 2018
 Seite 17/88

2.3 Fazit

Selbstfahrende Fahrzeuge haben ein grosses Potenzial für tiefgreifende Änderungen für die Mobilität der Zukunft. Die Technologie führt auch zu einem Zusammenrücken von individuellem und kollektivem (öffentlichem) Verkehr. Es wird mit der Entstehung einer neuen Kategorie von gemeinsam genutzten Robotaxis bzw. Robovans gerechnet. Diese verbinden die Vorteile des MIV wie eine direkte Route von Tür zu Tür mit den Vorteilen des ÖV.

2.4 Forschungslücke

Der Stand der Forschung deckt also breite Aspekte von SFF als Verkehrssystem ab, z.B. Verbesserungen in der Erreichbarkeit, Effizienzgewinne und potenzielle Auswirkungen auf Nachfrage und Stadtplanung. Allerdings gibt es mindestens drei substantielle Lücken in den aktuellen Ergebnissen, die in diesem Projekt im Fokus stehen werden: eine realistische Kombination von öffentlichen und privaten Verkehrsnetzen, eine Fokussierung auf ländliche Gebiete und die Perspektive der zukünftigen Betreiber auf solche SFF-basierte Transportsysteme.

2.4.1 Fokus auf ländlichen Raum

Eine wichtige Forschungslücke ist, dass es keine Analyse der notwendigen Anzahl von SFF für ländliche Gebiete gibt. Dies ist ein wichtiger Punkt, da die Nachfragedichte und die Anzahl der Nutzer einen grossen Einfluss auf die potenzielle Effizienz haben (Bösch et al. 2016, ITF 2015). Für Singapur würden 200'000 Autos einen Rückgang der Verfügbarkeit zu 50% zur Spitzenzeit verursachen; mit 300'000 Fahrzeugen hingegen beträgt die Verfügbarkeit etwa 72% (Spieser et al. 2014). Für ländliche Gebiete könnten solche Dichte- und Skaleneffekte entscheidend sein. In diesem Zusammenhang sind auch die entstehenden Kosten von Interesse. Es ist eine offene Frage, zu welchen Kosten selbstfahrende Fahrzeuge eine Servicequalität liefern könnten, die mit dem heutigen öffentlichen Verkehr oder einem Privatauto vergleichbar ist.

2.4.2 Kombination von privaten und öffentlichen Verkehrsmitteln

In den Szenarien in den Beiträgen von Bösch et al. (2016) oder Meyer et al. (2016) wird davon ausgegangen, dass alle Reisen von autonomen Fahrzeugen unternommen werden, d.h. es gibt keinen privaten Fahrzeugbesitz mehr. Die Simulation in Bösch et al. (2016) geht sogar davon aus, dass nur private (d.h. nicht gesharte) Fahrten mit SFF möglich sind. Diese Simulationen nehmen nicht die heutigen öffentlichen Verkehrsmittel als Ausgangspunkt, sondern simulieren eine völlig neue Situation. Für die Schweiz scheint dies jedoch eher unwahrscheinlich. Prognos (2016) schätzt, dass im Jahr 2040 maximal 40 Prozent der Autos autonom sein werden und das Pkw-Eigentum nur um 10 Prozent sinken wird. Für den schweizerischen Kontext scheint es deshalb wahrscheinlicher, dass ein Verkehrsunternehmen mit einer regionalen Konzession die Fahrgäste bis zum S-Bahn- und Fernverkehrsnetz bedient.

2.4.3 Anbieter und Geschäftsmodelle

Eine dritte wichtige Lücke ist die bisher mangelhafte Untersuchung möglicher Betreiber und attraktiver Geschäftsmodelle in einem Umfeld von automatisierten Fahrzeugen (Prognos, 2016). Spieser et al. (2014) haben berechnet, dass ein privater Autobesitzer seine Mobilitätskosten von jährlich \$11'315 (CHF 11'056) auf \$9'728 (CHF 9'505) reduzieren könnte, wenn er SFF verwendet, statt ein eigenes Fahrzeug zu besitzen. Bisher fehlt allerdings die Perspektive des möglichen Systembetreibers: welche Fragen und Herausforderungen stellen sich einem Unternehmen bei der Planung und dem Betrieb eines Systems von Selbstfahrenden Fahrzeugen? In Bezug auf diese Fragen sind Simulationsmodelle eine Art Blackbox, die es schwierig macht sich vorzustellen, wie ein Angebot in der Realität tatsächlich funktionieren würde.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 18/88

Am Beispiel des Tösstals wird deshalb in diesem Projekt ein SFF-Angebot tatsächlich geplant. Das Projektteam setzt dazu auf weniger komplexe, aber demonstrativere Verkehrsplanungsmethoden (Weidmann 2011, Köhler 2014, Cerwenka 2007). Die Schnittstellen in der Transportkette zwischen SFF und S-Bahn, mögliche Modalverschiebungen durch Angebotsverbesserungen oder Kapazitätseinschränkungen an den Umsteigehubs können damit detailliert angesprochen werden.

2.5 Forschungsfragen

1. Ist es möglich, die bestehenden öffentlichen Verkehrsmittel im Tösstal durch autonome Fahrzeuge zu ersetzen? Was sind die erwarteten Investitions- und Betriebskosten? Sind kostendeckende Konzepte möglich?
2. Wie viele Fahrzeuge wären dafür notwendig?
3. Gibt es genügend Strassenkapazitäten für den Zugang autonomer Fahrzeuge zu den Umsteigehubs für S-Bahn und Fernverkehr?
4. Wie sehen potenzielle Geschäftsmodelle für die Schweizer Bundesbahnen in einer solchen Konstellation aus?
5. Welchen Einfluss haben öffentliche Verkehrssysteme mit SFF in ländlichen Gebieten auf die Nachfrage im Fernverkehr?
6. Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus dieser Fallstudie für andere ländliche Gebiete in der Schweiz ziehen?

Luzern, 11. April 2018
Seite 19/88

3 Methoden

Für die Beantwortung der Forschungsfragen wird ein Vorgehen in fünf Schritten gewählt. Im Wesentlichen wird davon ausgegangen, dass die heutige Nachfrage im ÖV auf selbstfahrende Robovans umgelagert wird, während die privaten Fahrzeuge (traditionell gesteuert oder selbstfahrend) weiterhin in Betrieb bleiben. Die Umlegung der ÖV-Nachfrage auf selbstfahrende Robovans wird in drei verschiedenen Varianten berechnet. Anschliessend werden die Auswirkungen auf den Fernverkehr untersucht und mögliche Geschäftsmodelle für die SBB identifiziert und bewertet.

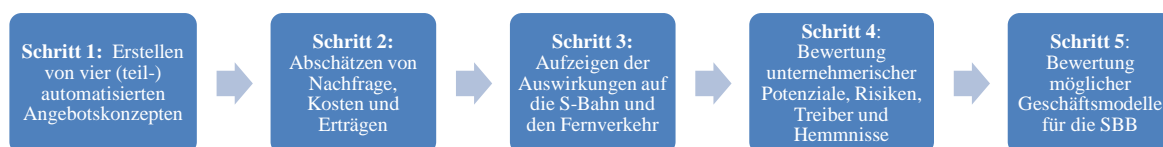


Abbildung 4: Gewähltes methodische Vorgehen

Quelle: eigene Darstellung

3.1 Schritt 1: Erstellung von vier (teil-)automatisierten Angebotskonzepten

Für das Tösstal werden vier verschieden stark automatisierte Angebotskonzepte beschrieben. Dabei steigen die Effekte der Automatisierung von Variante zu Variante. Die Varianten 1-4 werden mit der Referenzvariante verglichen (Markt- und Angebotszustand im Jahr 2013). Die folgende Tabelle 3 zeigt die Charakterisierung der vier Varianten.

Tabelle 3: Charakterisierung der Varianten

Variante	Beschreibung	Haltestellen	Sitzplätze pro Zug/ Bus	Fahrplan	Takt	Nachfrage
0 Referenz	Bahn- und Busangebot 2013 zwischen Bauma und Winterthur	Ja	Bahn: HVZ 268/ NVZ 162 Standardbus ³ : 44	Ja	60'/30'	2013
1 Angebot 2013 automatisiert	Bahn und Busse, auf den heutigen Linien, automatisiert.	Ja	Bahn: HVZ 268/ NVZ 162 Standardbus: 44	Ja	60'/30'	2013
2 Reines Busangebot	Bus statt Bahn (optimiertes Busangebot mit neuen Direktlinien)	Ja	Standardbus: 44 Gelenkbus ⁴ : 58	Ja	60'/ 15'- 30'	2013+/-
3 Tür zu Tür-Angebot	Fahrerlose Kleinbusse (Robovans), nach Bedarf und von Tür zu Tür	Tür-zu-Tür	8	nach Bedarf	nach Bedarf	2013+/-
4 Tür zu Tür-Angebot & automatisiertes Bahnangebot	Fahrerlose Kleinbusse (Robovans), nach Bedarf und von Tür zu Tür sowie ein automatisiertes Bahnangebot	Bahn: ja, Tür-zu-Tür	Bahn: HVZ 268/ NVZ 162 Robovan: 8	Bahn: ja Robovan: nach Bedarf	Bahn: 60'/30' Robovan: nach Bedarf	2013+/-

Quelle: eigene Darstellung

³ z.B. MAN Lion's City A20, Postauto Schweiz AG

⁴ z.B. MAN Lion's City A23, Postauto Schweiz AG

Definition von Umsteigehubs im oberen Tösstaal

Die Angebotskonzepte beschränken sich auf das obere Tösstaal. Das bedeutet, dass keine automatisierten Fahrzeuge über den Untersuchungsperimeter hinausfahren. Für die Varianten 2 und 3 werden Umsteigehubs definiert, von denen die Fahrgäste auf den Fernverkehr resp. den S-Bahnverkehr umsteigen (siehe Abbildung 2). Das bedeutet, dass die Einwohnerinnen und Einwohner für ÖV-Personenfahrten aus dem Untersuchungsperimeter hinaus bei allen untersuchten Varianten den öffentlichen Verkehr ab einem der Hubs verwenden, sofern der Hub nicht das Ziel der Personenfahrt darstellt. Die Hubs werden so ausgewählt, dass ein möglichst effizientes Umsteigen auf das überregionale S-Bahn resp. Fernverkehrsnetz möglich ist. In Variante 4 werden die in den Varianten 2 und 3 definierten Umsteigehubs mit den Bahnstationen der heutigen S26 ergänzt.

3.2 Schritt 2: Abschätzung von Nachfrage, Kosten und Erträgen

Für die Abschätzung der Nachfrage wird die aktuelle Nachfrage auf automatisierte Busse, Bahnen und selbstfahrende Autos umgelegt. Nachfrageveränderungen aufgrund verbessertem resp. verschlechtertem Angebot werden durch Reisezeit- und Intervallelastizitäten berücksichtigt. Am Schluss wird berechnet, wie viele selbstfahrende Fahrzeuge es braucht, um die aktuellen Gäste von Zug und Bus zu befördern und was das neue Angebotskonzept kostet resp. einbringen würde. Im Detail unterscheiden sich jedoch die Varianten 1-4 in Bezug auf die angewandten Methoden und Datengrundlagen. Damit eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Variante gewährleistet ist, wurde mit möglichst ähnlichen Rahmenbedingungen und Grundlagen gearbeitet.

1. Die Referenzvariante und die Variante 1 basieren auf der heutigen Nachfrage (2013); in den Varianten 2, 3 und 4 wird mit den Quell-/ Zielnachfragen im Jahr 2013 aus dem Gesamtverkehrsmodell (GVM) des Kantons Zürich gearbeitet. Das GVM umfasst alle Gemeinden des Kantons Zürich sowie Gemeinden in den angrenzenden und weiteren Kantonen (Aargau, Glarus, Luzern, Schaffhausen, Schwyz, St. Gallen, Thurgau, Zug). Ziele in der „übrigen Schweiz“ werden in Sammelkategorien ausgewiesen.
2. Für die Berechnungen der Nachfrage werden keine Prognosedaten eingesetzt (Arbeit nach dem Prinzip „Umlegung der aktuellen Nachfrage auf ein neues Angebot“). Der Hauptgrund für diese Wahl liegt in der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten.
3. Bei den Nachfrageschätzungen werden jeweils die Personenfahrten an einem durchschnittlichen Wochentag (DWV; d.h. durchschnittlicher Wochentagsverkehr) sowie in der Abendspitze (ASP; d.h. Spitzenstunde mit der höchsten Verkehrsbelastung)⁵ analysiert. In Variante 2 wurde die Spitzennachfrage, ausgehend vom DWV mit einem einfachen Handmodell abgeschätzt (siehe dazu die Erläuterungen in Kapitel 4.3.1). In den Varianten 3 und 4 wird die Nachfrage basierend auf Quelle-Ziel-Matrizen aus dem Zürcher Gesamtverkehrsmodell abgeschätzt. In dieser Methodik wird jede Beziehung zwischen Gemeinden einzeln berechnet und anschliessend addiert, womit eine grobe Annäherung an Verkehrsaufkommen und Fahrleistung gelingt.
4. Verbesserungen oder Verschlechterungen im Angebot führen zu einer höheren bzw. tieferen Nachfrage. Die entsprechende Berechnung in den Varianten 2, 3 und 4 basiert auf Reisezeit- und Intervallelastizitäten (alle Zwecke) aus der Literatur (Vrtic 2006)⁶. Insbesondere bei Variante 3 (reines Tür-zu-Tür Angebot) sowie bei Variante 4 (Tür-zu-Tür-Angebot im Untersuchungsperimeter, Tür-zu-Hub Angebot für Verkehr mit Quelle oder Ziel ausserhalb Perimeter)

⁵ Bei der Methodenwahl wurde die Abendspitze für die Spitzennachfrage verwendet. In der Morgenspitze ist in der Region teilweise mit noch höherem Verkehrsaufkommen zu rechnen.

⁶ Folgende Elastizitäten werden verwendet: Reisezeitelastizität Lokalverkehr ÖV 0.598 und Intervallelastizität Lokalverkehr ÖV -0.191

entspricht dies nur einer Annäherung, da Elastizitäten empirisch erhoben werden müssten, was bei einem noch nicht existierenden Verkehrsangebot selbstredend nicht möglich ist. Weitere nachfragewirksame Einflussfaktoren wie Umsteigewiderstände, Komfort oder subjektive und objektive Sicherheit werden nicht berücksichtigt, da keine empirische Evidenz dafür existiert.

5. Für Personenfahrten mit Quelle oder Ziel ausserhalb des Tösstaals, werden bei Variante 2, 3 und 4 für jede Gemeinde im Tösstal die wichtigsten zehn Ziele ausserhalb des Untersuchungsperimeters analysiert. Die entsprechenden Personenfahrten werden einem der Hubs zugeordnet. Alle restlichen Personenfahrten, die Quelle oder Ziel ebenfalls ausserhalb des Tösstaals haben, werden prozentual auf die Hubs verteilt. Somit kann die Anzahl Personenfahrten zwischen Verkehrszelle innerhalb des Untersuchungsperimeters und dem entsprechenden Hub berechnet werden. Für die Quelle-/Zielmatrizen innerhalb des Tösstaals liegen exakte Zahlen aus dem Gesamtverkehrsmodell vor.
6. Kosten: Die Berechnung der Kosten in den Varianten 2, 3 und 4 basiert auf den zu leistenden Fahrzeugkilometern multipliziert mit den Vollkostensätzen (CHF je Fahrzeugkilometer). Die Vollkostensätze stammen aus dem Jahr 2013 und wurden aus neueren Forschungsprojekten (insbesondere die Publikation von Bösch et al. (2017)) übernommen. Für die Variante 2 wurde mit zunächst die heutigen Kostensätze verwendet und anschliessend mit den folgenden pauschalen Abschlägen gearbeitet (vgl. Kapitel 4.3.3):
 - Selbstfahrende Busse fahren 50% günstiger als heutige Busse
 - Selbstfahrende Züge fahren 15% günstiger als heutige Züge
7. Erträge: In der Variante 1 bleiben die Erträge unverändert; lediglich die Kosten ändern. In der Variante 2 werden die Erträge proportional zur Veränderung der Anzahl Personenfahrten (Quelle- Ziel) verändert. Weil sich die Varianten 3 und 4 konzeptionell stark von den Varianten mit festem Liniennetz unterscheidet, wurden die Erträge basierend auf den sich ergebenden Zahlen für die Personenkilometer und die Einsteiger berechnet. Konkret gerechnet wurde mit einem Satz von 16 Rappen pro Pkm und CHF 1.70 pro Personenfahrt. Dabei wurden die Pkm mit einem Gewicht von 30%, die Einsteiger mit einem Gewicht von 70% berücksichtigt. Die Ertragsätze wurden iterativ ermittelt, mit der in der Schweiz gängigen Methode der Ertragszuschreibung, basierend auf den publizierten⁷ Linienerfolgsrechnungen (Kosten und Erträge je Linie) resp. im Fall der S26 mit der Linienerfolgsrechnung 2013 der Turbo AG.

3.3 Schritt 3: Auswirkungen auf die S-Bahn und den Fernverkehr

Für eine Abschätzung der Auswirkungen der neuen Angebote auf den S-Bahn- und Fernverkehr wird die Änderung der Nachfrage betrachtet. Diese ergibt sich aus den Personenfahrten, welche den Untersuchungsperimeter verlassen. Dabei ist relevant, über welche Hubs die Nachfrage gelenkt wird. Für die Einschätzung der Situation an den Hubs wurden für jede Gemeinde im Tösstal die wichtigsten zehn Ziele analysiert (vgl. Kapitel 3.2) Die entsprechenden Fahrten wurden einem Hub zugeordnet, also einem „Ausgangstor“ aus der Region bzw. einem „Eingangstor“ zur Region. In der abendlichen Spitzenstunde ist die Funktion als Eingangstor relevanter, weil bedeutend mehr Person ausserhalb der Region zur Arbeit und zur Ausbildung fahren als umgekehrt. Die entsprechende Situation an den Hubs kann aufgrund der Anzahl Fahrten sowie der Situation vor Ort abgeschätzt werden. Es gilt zu beachten, dass ein beträchtlicher Teil der Personenfahrten zu den Hubs diesen als Endziel hat (z.B. Fahrt von Bauma nach Effretikon).

⁷ Zürcher Kantonsrat, KR-Nr. 301/2015, Dringliche Anfrage (Kostendeckungsgrad der Linien im Zürcher Verkehrsverbund)

Luzern, 11. April 2018
 Seite 22/88

In der Referenzvariante und in der Variante 1 gibt es keine Veränderungen in der Nachfrage, in der Variante 2 eine leichte zeitliche Verschiebung und in den Varianten 3 und 4 präsentiert sich eine komplett neue Ausgangslage. Für die sieben Umsteigebahnhöfe (Hubs) in Variante 3 und den zusätzlichen sieben S-Bahn-Haltestellen in Variante 4 in der Region wird untersucht, welche verkehrlichen Konsequenzen ein neues Angebot hätte. Eine Untersuchung dieser Fragestellungen mit Prognosedaten könnte für die Varianten 3 und 4 lohnenswert sein; konnte jedoch im Rahmen dieses Projektes nicht geleistet werden.

3.4 Schritt 4: Unternehmerische Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse

Für jede der fünf untersuchten Varianten wird ausserdem beschrieben, welche Potenziale und Risiken sich darin für die wichtigsten beteiligten Stakeholder ergeben würden. Als zentrale Stakeholder gelten die SBB, weitere Transportunternehmen, die Kunden und der Besteller. Ebenfalls werden die Treiber und Hemmnisse bei einer allfälligen Umsetzung beschrieben.

3.5 Schritt 5: Identifikation und Bewertung von Geschäftsmodellen für die SBB

Die Beantwortung der Frage, welches Geschäftsmodell für die SBB am besten geeignet ist, bereitet aus methodischer Sicht einige Schwierigkeiten. Insbesondere lässt sich nicht rein fachlich bzw. objektiv festlegen, welches Geschäftsmodell das Beste ist. Neben fachlichen Kriterien spielen nämlich auch politisch-normative Komponenten eine wichtige Rolle. Erschwerend hinzu kommt, dass unklar ist, welche politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen gelten. Damit eine sinnvolle Identifikation und Bewertung der Geschäftsmodelle überhaupt möglich ist, werden einige Annahmen zu den Rahmenbedingungen getroffen. Insbesondere wird davon ausgegangen, dass die SBB weiterhin das Fernverkehrsnetz betreiben. Generell wird im regulatorischen Umfeld davon ausgegangen, dass PBG, PBV und andere Rahmenbedingungen weiterhin sinngemäss gelten.

Die Identifikation und Ausformulierung von vier neuen Geschäftsmodellen basiert auf der Erfahrung und dem Austausch unter Experten im Rahmen eines Workshops. Basis für diese Überlegungen bilden vier mögliche regulatorischen Kontexte, nämlich Monopol, Oligopol, geteilter Markt und Wettbewerb. Anschliessend werden die Geschäftsmodelle hinsichtlich von drei Dimensionen mit einander verglichen:

1. Attraktivität des Geschäftsmodells für die SBB → Chancen auf profitables Wachstum, Nähe zum Kerngeschäft, Beitrag zum Unternehmensimage, Passfähigkeit zum Geschäftsmodell des SBB Konzerns und der Unternehmenskultur
2. Die (zukünftige) Marktposition der SBB → komparative Vor- und Nachteile ggü. der Konkurrenz
3. Realisierbarkeit → Chancen auf Realisierung, mögliche Opposition und Risikoüberlegungen

Luzern, 11. April 2018
Seite 23/88

4 Resultate der Variantenberechnungen

Nachstehend werden für jede der vier Varianten das Angebotskonzept (Schritt 1) und die daraus resultierenden Personenfahrten, Kosten, Erträge sowie der Kostendeckungsgrad (Schritt 2) beschrieben und danach miteinander verglichen. In Kapitel 5 werden die Auswirkungen auf die S-Bahn und den Fernverkehr (Schritt 3) und in Kapitel 6 die Chancen und Risiken (Schritt 4) je Variante aufgezeigt. Der fünfte und letzte Schritt, *Rollen und Geschäftsmodelle für die SBB*, folgt im separaten Kapitel 7.

4.1 Referenzvariante

Die Referenzvariante beinhaltet das Bahn- und Busangebot im Jahr 2013⁸ im Untersuchungsgebiet und entspricht damit weitgehend dem heutigen Angebot bzw. der heutigen Nachfrage. Wie auf folgendem Belastungsplot ersichtlich, ist die Belastung der S26 für eine Schweizer Bahnlinie – insbesondere im Vergleich mit den Hauptlinien in der Region Zürich – relativ gering (vgl. Abbildung 5).

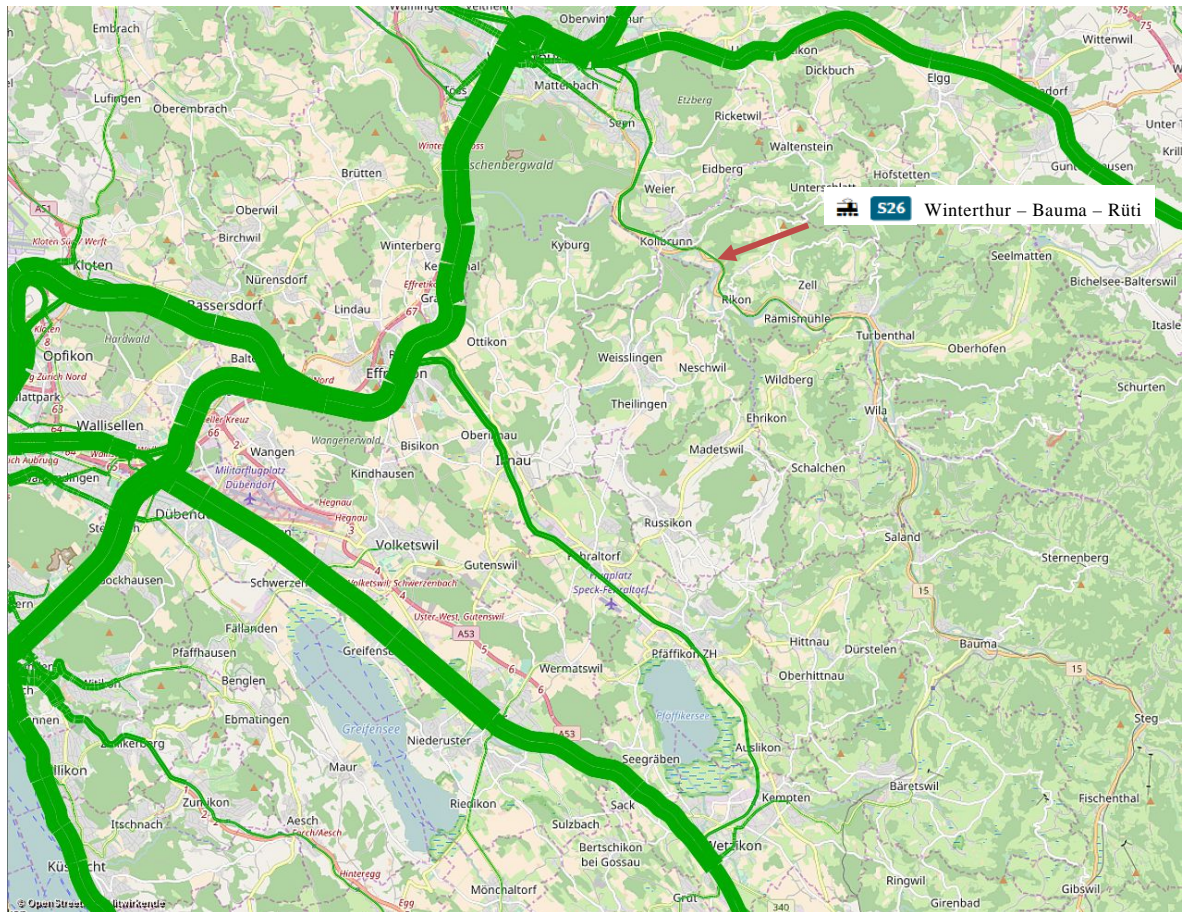


Abbildung 5: Belastungsplots des öffentlichen Verkehr in der Untersuchungsregion.

Quelle: Verkehrsmodell Kanton Zürich

⁸ Das Jahr 2013 wurde gewählt, weil dafür Daten aus dem zürcherischen Verkehrsmodell vorliegen.

Luzern, 11. April 2018
Seite 24/88

4.1.1 Angebotskonzept

Im Tösstal verkehrt zweimal pro Stunde ein Zug (S26). Regionalbusse sorgen für die Feinerschliessung. Die südlich ans Tösstal angrenzenden Ortschaften werden je nach Tageszeit an die S26 oder an die S3 – zwischen Wetzikon und Illnau angebunden. In den Spitzenzeiten bieten die S26-Züge 268 Sitzplätze an (GTW 2/6 + GTW 2/8). Die Standardbusse auf den Zubringerlinien bieten 44 Sitzplätze an. Die Fahrpläne der Regionalbusse sind derart auf die S-Bahn abgestimmt, dass schlanke Anschlüsse gewährleistet sind.

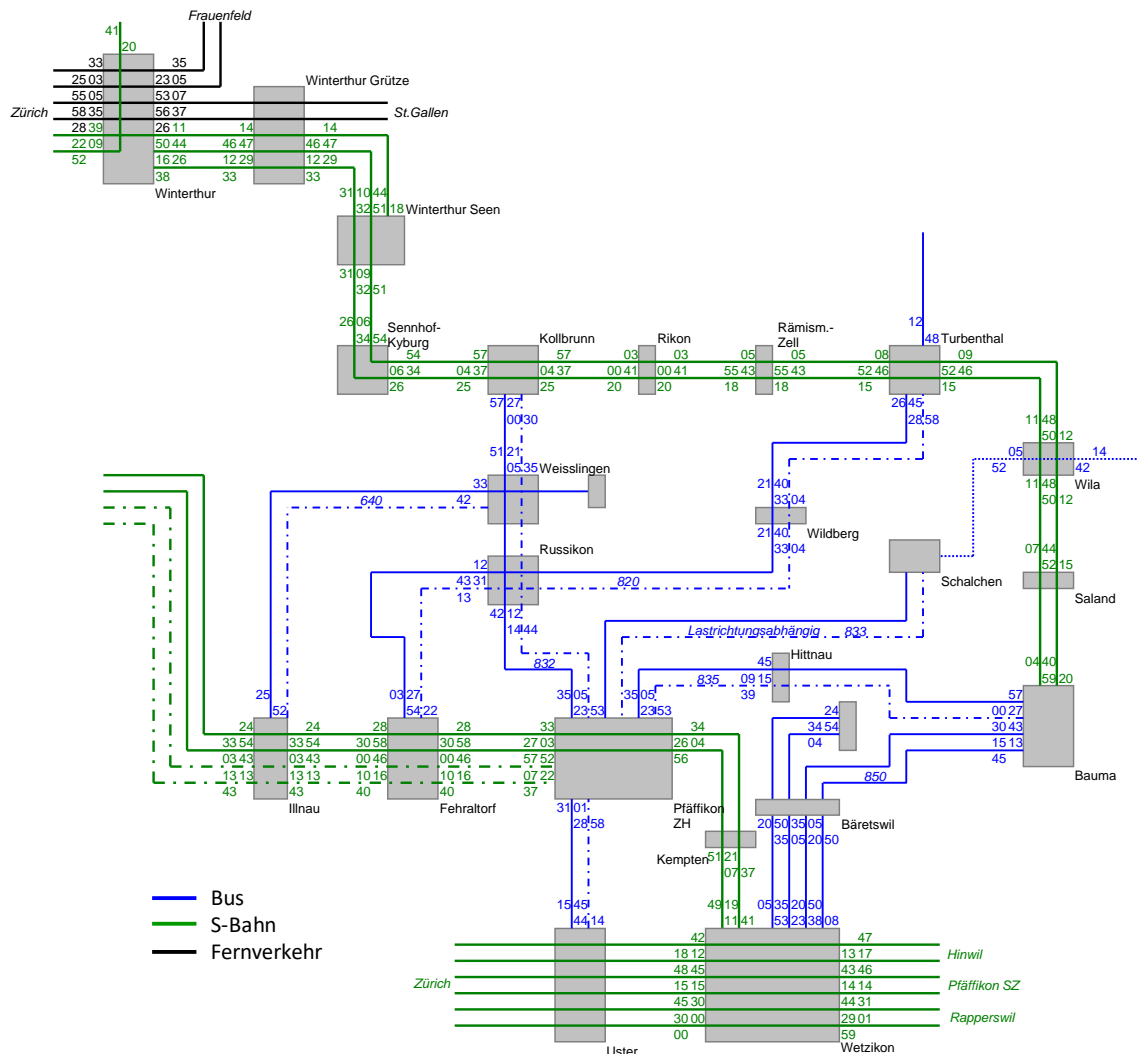


Abbildung 6: Referenzvariante (Netzgrafik Stand 2013)

Quelle: fahrplanfelder.ch/ eigene Darstellung

4.1.2 Nachfrage

Bei der Referenzvariante beträgt die Anzahl an Personenfahrten an einem durchschnittlichen Werktag (DWV) 8'817. Die berechnete Nachfrage entspricht den Daten aus dem Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich aus dem Jahr 2013.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 25/88

4.1.3 Kosten und Erträge

Für die Berechnung der Kosten und Erträge wurden bei der Referenzvariante folgende Annahmen getroffen:

- Die Kosten der Bus-Linien entsprechen in Referenzvariante den Angaben der Antwort auf die dringliche Anfrage 301/2015 im Zürcher Kantonsrat.
- Der Kostendeckungsgrad im Untersuchungsgebiet entspricht dem prozentualen Verhältnis zwischen den kumulierten Erträgen und den kumulierten Kosten aller Linien im Untersuchungsgebiet. Die Differenz zwischen den Kosten und den Erträgen entspricht der Abgeltung, die die öffentliche Hand im Jahr 2013 geleistet hat.
- Die IST-Linienerfolgsrechnung für die S26 bezieht sich auf die Strecke Winterthur- Rüti. Die Kosten und Erträge für den Streckenabschnitt Winterthur- Bauma wurden proportional zur Streckenlänge heruntergebrochen:
 - Streckenlänge Winterthur - Rüti: 46.2 km, Winterthur-Bauma: 25.1 km, Bauma-Rüti: 21.1 km
 - Kosten: Multiplikation der Anzahl eingesetzter Züge zwischen Winterthur und Bauma, resp. Bauma und Rüti mit der jeweiligen Streckenlänge (25.1 km resp. 21.1 km). Proportional zu den sich ergebenden Zugskilometern werden die Kosten der S26 für den Abschnitt Winterthur - Bauma berechnet.
 → Winterthur - Bauma: 75% der produktiven Zugs-km, resp. der Kosten.
 - Erträge: Zwischen Winterthur und Bauma, resp. Bauma und Rüti werden je die Anzahl Fahrgäste je Querschnitt aufsummiert. Die Erträge der S26 werden gemäss den sich ergebenden Grössenverhältnissen verteilt.
 → Winterthur - Bauma: 89% der Erträge

Die folgende Tabelle 4 zeigt Kosten, Erträge und Kostendeckungsgrad der Referenzvariante im Jahr 2013. Dabei gilt zu beachten, dass die Infrastrukturkosten durch den Bund „a fonds perdu“ übernommen wurden und der Betrieb über die Trassenpreise finanziert wird. Die Abgeltungen, die für den Betrieb notwendig sind, sind in der Tabelle nicht sichtbar.

Tabelle 4: Kosten und Erträge der Referenzvariante

	V0
<i>Fahrzeug-km (Bus)</i>	1'179'696
<i>Zug-km Bahn produktiv⁹</i>	676'508
Kosten	16'225'381
Ertrag¹⁰	8'303'053
Kostenunterdeckung	-7'922'328
Kostendeckungsgrad	51%

Quelle: eigene Darstellung, basierend auf eine dringliche Anfrage im KR Zürich (KR-Nr. 301/2015), resp. der Turbo-Linienerfolgsrechnung für die S26.

Der Kostendeckungsgrad der Referenzvariante lag im Jahr 2013 bei **51%**.

⁹ Zug-km Bahn: Für die Strecke Winterthur-Bauma wurde mit 75% der Leistungen der Strecke Winterthur- Rüti gerechnet.

¹⁰ 89% der Erträge auf der S24 (Winterthur- Rüti) fallen auf dem Abschnitt Winterthur-Bauma an.
 Quelle: DTW-Querschnittsbelastungen aus SBB-SIMBA

Luzern, 11. April 2018
 Seite 26/88

4.2 Variante 1: Selbstfahrender Bahn- und Busbetrieb

In dieser Variante fahren die Züge und Busse im Untersuchungsgebiet autonom. Das Verkehrsangebot ist gleich wie in der Referenzvariante.

4.2.1 Angebotskonzept

Das Angebotskonzept aus Referenzvariante (vgl. Kapitel 4.1.1) bleibt unverändert.

4.2.2 Nachfrage

Bei der Variante 1 ändert die Nachfrage (8'817 Personenfahrten an einem durchschnittlichen Werktag) gegenüber der Referenzvariante nicht.

4.2.3 Kosten und Erträge

Für die Berechnung der Kosten und Erträge wurden bei der Variante 1 folgende Annahmen getroffen:

- Die Buskosten sinken um 50% pro Fahrzeugkilometer, die Bahnkosten sinken um 15% pro Zugkilometer.
- Der Kostendeckungsgrad ist definiert als prozentuales Verhältnis zwischen den kumulierten Erträgen und den kumulierten Kosten aller Linien im Untersuchungsgebiet.
- Kumulierter Ertrag: Gerechnet wird mit den gleichen Erträgen wie in der Referenzvariante.
- Kumulierte Kosten: Gerechnet wird mit den erwähnten, reduzierten Kilometerkosten.

Die folgende Tabelle 5 zeigt Kosten, Erträge und Kostendeckungsgrad der Variante 1 (Basis 2013).

Tabelle 5: Kosten und Erträge der Variante 1

	V1
<i>Fahrzeug-km (Bus)</i>	1'179'696
<i>Fahrzeug-km Bahn</i> ¹¹	676'508
Kosten	11'211'241
Ertrag	8'303'053
Kostenunterdeckung	-2'908'187
Kostendeckungsgrad	74%

Quelle: eigene Darstellung

Im Vergleich zur Referenzvariante sind die Kosten für den Betrieb der Bahn- und Buslinien deutlich tiefer, während die Erlöse unverändert sind. Daraus resultiert für die **Variante 1** ein Kostendeckungsgrad von **74%**. Zum Vergleich: Der Kostendeckungsgrad der nicht automatisierten Variante beträgt 51%.

¹¹ Zug-km Bahn: Für die Strecke Winterthur-Bauma wurde mit 75% der Leistungen der Strecke Winterthur- Rütli gerechnet.

Luzern, 11. April 2018
Seite 27/88

4.3 Variante 2: Selbstfahrender Busbetrieb ohne Bahnangebot

In Variante 2 wird die Tösstalbahn zwischen Bauma und Winterthur (S26) durch ein autonom verkehrendes Busangebot ersetzt.

4.3.1 Angebotskonzept

Das Busangebot wird im gesamten Untersuchungsgebiet neu konzipiert. Den räumlichen Rahmen dafür bilden die Bahnhöfe Winterthur, Illnau-Effretikon, Fehraltorf, Pfäffikon, Wetzikon, Bauma und Eschlikon (vgl. Abbildung 2; Kapitel 1.2). An diesen Stellen ist für Fahrten aus dem Tösstal bzw. ins Tösstal ein Angebot des übergeordneten Bahnnetzes (Fernverkehr oder S-Bahn) verfügbar. Für die Fahrplankonzeption bleiben das Liniennetz und die Fahrpläne zwischen dem Tösstal und den südwestlich gelegenen S-Bahnhöfen Wetzikon, Pfäffikon, Fehraltorf und Illnau unverändert bestehen. Die Anschlusszeiten an die S-Bahnen in den erwähnten Bahnhöfen sind die Angelpunkte des neuen Angebotes.

Wo dies möglich und sinnvoll ist, werden die aus Südwesten ins Tösstal fahrenden Buslinien - sie haben auf Seite Tösstal eine Zubringerfunktion an die heutige S26 - direkt weiter verlängert nach Winterthur. Dadurch entfällt für die Fahrgäste das Umsteigen. Im Tösstal selber überlagern sich mehrere durchgebundene Buslinien. Ein dichter Takt entsteht. Davon profitieren die näher bei Winterthur liegenden Gemeinden im Tösstal.

Luzern, 11. April 2018
Seite 28/88

In Abbildung 7 ist das neue Buskonzept für die Variante 2 dargestellt.

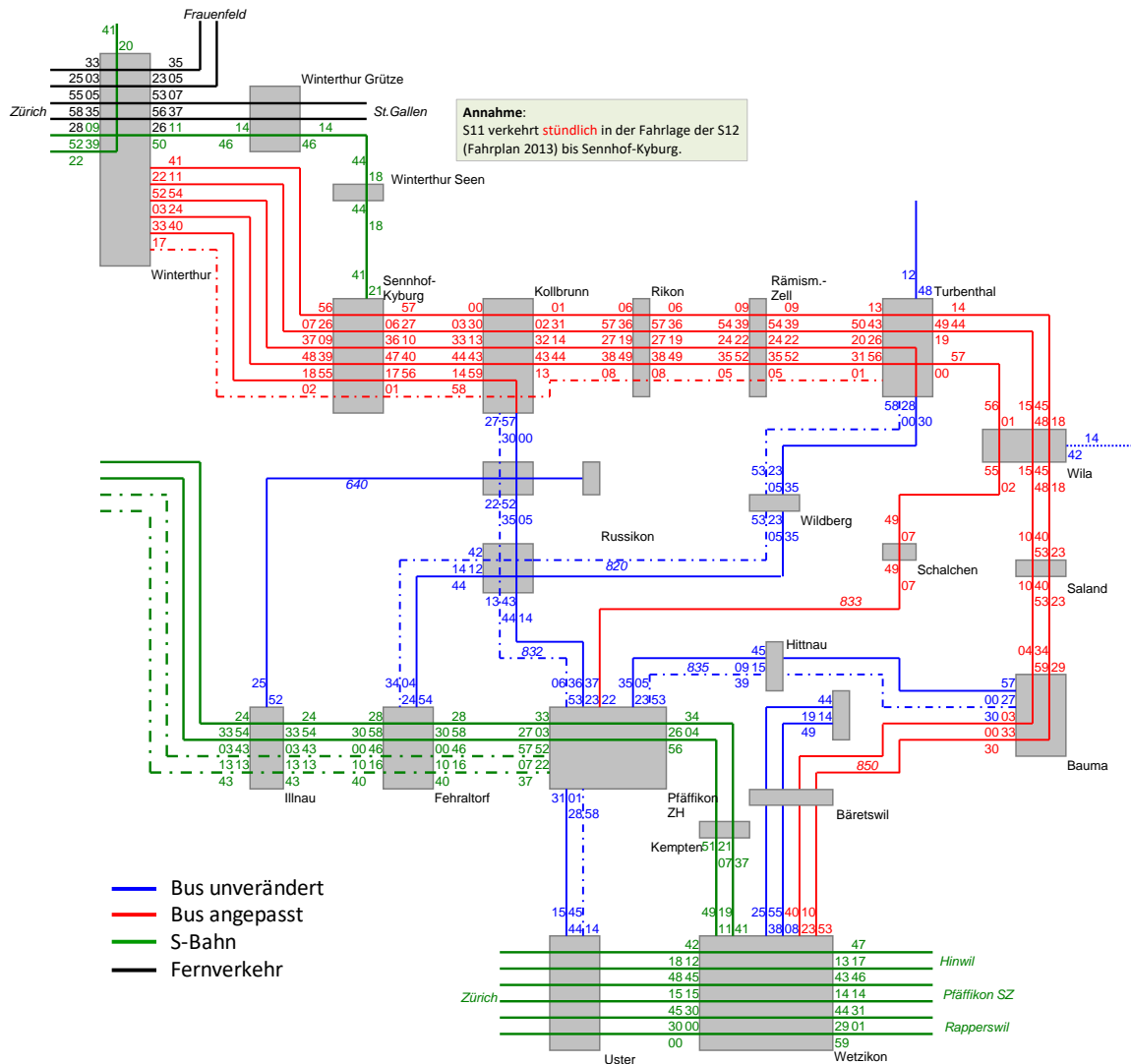


Abbildung 7: Neues Buskonzept für die Variante 2

Quelle: fahrplanfelder.ch/ eigene Darstellung

Einmal pro Stunde besteht am Bahnhof Sennhof-Kyburg¹² Anschluss an die direkte S-Bahn nach Zürich. In der übrigen Zeit verkehren die Busse weiter bis zum Bahnhof Winterthur. Dort ergeben sich teilweise neue, gegenüber heute zusätzliche Anschlüsse an S-Bahnen und FV-Züge nach Zürich und in die Ostschweiz.

Bei gleicher Haltepolitik wie heute verlängern sich die Fahrzeiten der Busse im Tösstal gegenüber der Bahn (z.B. zwischen Bauma und Winterthur von heute 34 Minuten auf neu 48 Minuten). Dies

¹² Im Fahrplan 2013 endete die von Zürich kommende S12 noch in Winterthur Seen. Ab dem Fahrplan 2018 wird die S-Bahn bis nach Sennhof-Kyburg verlängert. Diese, bereits im kommenden Jahr eintretende Veränderung haben wir für die Variante 2 unterlegt und damit eine konkret geplante Angebotsentwicklung vorweggenommen, mit der Überzeugung, dass eine solche Netzanpassung bei einem Wechsel von der heutigen Referenzvariante zur Variante 2 umgehend gemacht würde.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 29/88

deshalb, weil die Busse im Vergleich zur Bahn zwischen dem Bahnhof Sennhof-Kyburg und dem Bahnhof Winterthur weniger schnell fahren können. Zusätzlich wurde auf dieser Relation noch eine fünfminütige Pufferzeit einberechnet. Nachfolgende Tabelle zeigt je Relation die verwendeten Durchschnittsgeschwindigkeiten und die daraus resultierenden Reisezeiten. In Anbetracht der langen Haltestellenabstände (heutige Haltepolitik der S26) sind die verwendeten Durchschnittsgeschwindigkeiten tendenziell eher zu tief. Womit hier eine Sicherheitsreserve eingebaut ist.

Tabelle 6: Fahrzeitbestimmung

Von	Nach	Δkm	Økm/h	Reisezeit [min]	Bemerkungen
Sennhof-Kyburg	Winterthur	6	35	10	zusätzlich 5min Pufferzeit
Sennhof-Kyburg	Kollbrunn	1.8	40	3	
Kollbrunn	Rikon	3	40	5	
Rikon	Rämismühle-Zell	2.2	40	3	
Rämismühle-Zell	Turbenthal	2.7	40	4	
Turbenthal	Wila	2.6	40	4	
Wila	Saland	3	40	5	
Saland	Bauma	4.2	40	6	
Bauma	Steg	4.8	40	7	

Quelle: eigene Berechnungen, Geschwindigkeit angelehnt an Weidmann (2013) und FGSV (2008)

Die Nachfrage berechnet sich aus den Reisezeitunterschieden zwischen der Referenzvariante und der Variante 2 für Fahrten zwischen den Quellen im Tösstal und den ausserhalb des Betrachtungsperimeters Tösstal liegenden Zielen. Grundlage für die Analysen bilden Reisezeitabfragen im elektronischen Fahrplan. Wo die Reisezeitdifferenzen zwischen den Verbindungen mit Umsteigen in Sennhof-Kyburg auf die S-Bahn und den Verbindungen mit Umsteigen in Winterthur auf die Bahn klein sind, wurde der Mittelwert als Reisezeit verwendet und beide Wege als Verbindung gezählt. Bei grossen Reisezeitdifferenzen wurde jeweils nur die Verbindung mit der schnelleren Reisezeit berücksichtigt.

Die Nachfrage verändert sich unterschiedlich, je nach Relation. Massgebend sind die sich ändernden Reisezeiten, die rückläufige Anzahl Umsteigevorgänge und die steigende Anzahl von Verbindungen pro Stunde im Tösstal. Unterstellt sind stabile Fahrpreise.

Die Busse sind derart dimensioniert, dass die heutige Spitzennachfrage bewältigt werden kann. Nachfolgende Grafik zeigt die heutige, durchschnittliche wöchentliche Querschnittsnachfrage (DWV) auf der S26. Weil gemäss unserem Konzept ab Sennhof Kyburg eine S-Bahnlinie direkt nach Zürich verkehrt, ist für die Dimensionierung der Busse die Nachfrage im stärksten belasteten Querschnitt zwischen Kollbrunn und Sennhof Kyburg relevant. Die Angabe dazu fehlt. Deshalb haben wir mit einem interpolierten Wert (DWV) von 4'500 Fahrgästen gerechnet. Die Anzahl Sitzplätze resp. die Anzahl eingesetzter Busse wurde so dimensioniert, dass die Fahrgäste in den Spitzenzeiten sitzen können (mit der Bahn vergleichbare Reisequalität).

Luzern, 11. April 2018
 Seite 30/88

Die Spitzennachfrage wird folgendermassen berechnet:

- Annahme, dass 50% der Fahrgäste (Fg) zu Spitzenzeiten unterwegs sind $\rightarrow 4'500:2= 2'250$ Fg
- Für die Dimensionierung relevant ist jeweils nur eine der beiden Tagesspitzen: $2'250:2= 1'125$ Fg
- Richtung Winterthur verteilt sich die morgendliche Spitzennachfrage auf 3 Stunden:
 $1'125 \text{ Fg} :3 = 375 \text{ Fg pro Stunde.}$

Mit der geplanten Anzahl Busse stehen zwischen Kollbrunn und Sennhof Kyburg je Spitzenstunde und Richtung 422 Sitzplätze zur Verfügung. Ab Sennhof Kyburg steigt das Sitzplatzangebot wegen der direkten S-Bahn nach Zürich um 1'200 Sitzplätze (Annahme: dreiteilige Komposition).

Verstärkungsbusse

Die rot gestrichelte Linie in der Netzgrafik (vgl. Abbildung 7) bedeutet, dass Verstärkungsbusse eingesetzt werden. Konkret verkehren in den morgendlichen und abendlichen Spitzenstunden je drei zusätzliche Gelenkbusse zwischen Turbenthal und Winterthur.

Hub Winterthur

Alternativ zur heutigen Tösstallinie (S26) verkehren künftig fünf Busse pro Stunde (Hauptverkehrszeit acht) bis zum Bahnhof Winterthur, wobei maximal drei Busse (in der HVZ vier) gleichzeitig am Bahnhof halten. Das heutige Endgleis der S26 im Bahnhof Winterthur liegt peripher neben der Strasse zum Bahnhof und würde sich nach einem Umbau als Abstellfläche für selbstfahrende Busse anbieten.

4.3.2 Nachfrage

Die Nachfrage in Variante 2 beläuft sich auf 8'988 Personenfahrten (DWV). Sie ist damit **zwei** Prozent höher als in der Referenzvariante. Das neue, rein Bus-basierte Linienkonzept führt auf:

- 63 Relationen zu einem Wachstum der Nachfrage,
- 39 Relationen zu einem Rückgang der Nachfrage,
- 98 Relationen zu keiner Veränderung der Nachfrage.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 31/88

4.3.3 Kosten und Erträge

Für die Berechnung der Kosten und Erträge wurden folgende Annahmen getroffen:

- Der Kostendeckungsgrad entspricht dem prozentualen Verhältnis zwischen den kumulierten Erträgen und den kumulierten Kosten aller Linien im Untersuchungsgebiet.
- Kumulierter Ertrag: Die Erträge werden gestützt auf die veränderte Nachfrage neu gerechnet. Grundlage bildet eine Ziel-/ Quellmatrix¹³ aus dem GVM mit den Binnenfahrten und den Fahrten im ausbrechenden Verkehr. Für jede Ziel-/ Quellverbindung wurden die Veränderungen bei der Reisezeit¹⁴ und bei der Anzahl Verbindungen pro Durchschnittsstunde analysiert. Gestützt darauf wurde mit Hilfe von Elastizitäten die Auswirkungen auf die Anzahl Fahrten berechnet. Die Summe aller Fahrten in Variante 2 wurde mit der Summe aller Fahrten in der Referenzvariante verglichen¹⁵. Im Ausmass dieser Veränderungen wurden die kumulierten Erträge der Referenzvariante neu berechnet. In den Berechnungen nicht berücksichtigt sind Kreuzelastizitäten, also Verlagerungseffekte vom ÖV auf den MIV, z.B. weil neu auch die bisherigen «Captives» des öffentlichen Verkehrs die selbstfahrenden Privatautos nutzen können.
- Kumulierte Kosten: Ausgangspunkt bilden die Kosten gemäss Referenzvariante. Zur Berücksichtigung der Automatisierungseffekte werden die Kosten der Buslinien um 50%¹⁶ gegenüber dem Stand 2013 reduziert.

Der Ersatz der Bahn durch Busse führt gegenüber der Referenzvariante zu einem Anstieg der gefahrenen Buskilometer um 115%. Die Zugkilometer fallen weg. Die folgende Tabelle 7 zeigt Kosten, Ertrag, Gewinn und Kostendeckungsgrad der Variante 2 (Basis Jahr 2013).

Tabelle 7: Kosten und Erträge der Variante 2

	V2
<i>Fahrzeug-km (Bus/Van)</i>	2'541'288
<i>Zug-km Bahn</i>	-
Kosten	7'940'750
Ertrag	8'464'133
Gewinn	523'383
Kostendeckungsgrad	107%

Quelle: eigene Darstellung

Der Kostendeckungsgrad der Referenzvariante beträgt **107%** (Stand Jahr 2013), womit der öffentliche Verkehr im Tösstal kostendeckend ist. Die Substitution der Bahn, verbunden mit einer flächendeckenden Automatisierung der Busse erhöht den Kostendeckungsgrad von 51% (Referenzvariante) auf 107%.

¹³ Verkehrsmodell Kanton Zürich, DWV, Fahrten

¹⁴ Die Reisezeit setzt sich zusammen aus 5 Minuten Anmarschzeit zur Haltestelle, der Fahrzeit und einem Zuschlag von 5 Minuten pro Umsteigevorgang.

¹⁵ Zur Vereinfachung wurde die Annahme getroffen, dass die durchschnittliche Reiselänge der Fahrgäste konstant bleibt

¹⁶ Quelle: mündlicher Bericht der SBB, Bösch (2017) weist leicht abweichende Zahlen aus

4.4 Variante 3: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bahn und Bus

In der Variante 3 verkehren im Tösstal selbstfahrende Robovans von Tür zu Tür. Sie ersetzen alle Bus- und Bahnverbindungen, nicht aber die privaten (teilweise ebenfalls selbstfahrenden) Autos. Für Fahrten aus dem Tösstal hinaus bringen sie die Passagiere zum nächstgelegenen Anschlusspunkt auf das Bahnnetz (S-Bahn-Verbindungen), fahren also keine Tür-zu-Tür-Verbindungen über das Tösstal hinaus. Folgende Annahmen wurden für die Berechnungen der Nachfrage sowie der Kosten und Erträge getroffen:

- Für die Berechnungen wird davon ausgegangen, dass zu jeder Tageszeit genügend Fahrzeuge vorhanden sein müssen. Das heisst: auch die ASP muss abgedeckt werden.
- Die Privatautos bleiben bestehen. Umsteigeeffekte auf den ÖV werden mit den Elastizitäten berücksichtigt.
- Mit dem ÖV kombinierte Reisen werden ausserhalb der Region Tösstal ganz im ÖV zurückgelegt (keine selbstfahrenden Autos in der übrigen Schweiz, auch nicht für die letzte Meile).
- Beim Zu- und Ausstieg jedes Fahrgastes entsteht jeweils ein Zusatzweg (gegenüber der Standardroute von Gemeindezentrum zu Gemeindezentrum), insbesondere wenn Tür-zu-Tür-Fahrten angeboten werden. Dies wird berücksichtigt, indem pro Personenfahrt mit einem Robovan ein Zuschlag von 500m bzw. einer Minute pro Einsteiger dazugerechnet wird.
- Am Wochenende fahren jeweils weniger Gäste als unter der Woche. Da aus dem verwendeten Verkehrsmodell nur Zahlen für den durchschnittlichen Werktagsverkehr vorliegen, wird bei der Ermittlung der Betriebskosten und Erträge ein Malus für die Wochenenden modelliert; dies angelehnt an allgemeine Daten aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015. In der Schweiz werden pro Person und Wochentag 10 km, am Samstag 6.85 km und am Sonntag 6.11 km zurückgelegt (BFS&ARE 2017).
- Für die Gäste nach Winterthur wird der Hub aus Platzgründen nach Sennhof-Kyburg verlegt. Für die Ermittlung der Kosten und Erträge wird die Teilstrecke Sennhof-Kyburg – Winterthur mit der S26 mitberücksichtigt. Bei der S26 Teilstrecke von Sennhof-Kyburg nach Winterthur wird für die Berechnung der Erträge angenommen, dass sämtliche Fahrgäste die gesamte Strecke zurücklegen.

4.4.1 Angebotskonzept

Beim Angebotskonzept wird für die Variante 3 von den folgenden Voraussetzungen ausgegangen. Im Tösstal verkehren selbstfahrende Robovans mit acht Sitzplätzen. Sie verkehren täglich von 05:00-01:00 Uhr und ersetzen das aktuelle Bahn- und Busangebot vollständig. Alle Fahrgäste werden vor ihrer Haustüre abgeholt und direkt an ihren Zielort gebracht (bzw. umgekehrt). Für Fahrten, die ausserhalb des Untersuchungsperimeters Tösstal beginnen resp. enden, steigen die Fahrgäste auf an einem der sieben Knotenpunkten (Hubs) auf den Fernverkehr oder die S-Bahn um. Bei der wichtigsten Relation nach Winterthur wird der Hub für Variante 3 vom Hauptbahnhof Winterthur auf die S-Bahnstation Sennhof-Kyburg verlegt. Dort steigen die Fahrgäste auf die S26 nach Winterthur um. Die Überlegung dahinter ist, dass der mit den selbstfahrenden Robovans entstehende Mehrverkehr im Zentrum von Winterthur zu kaum lösbaren Raum- und Verkehrsproblemen führen würde. Als Hubs wurden demnach Sennhof-Kyburg, Illnau, Fehraltorf, Pfäffikon, Wetzikon, Steg und Eschlikon definiert (vgl. Abbildung 2; Kapitel 1.2).

Der Takt bei den selbstfahrenden Robovans wurde für das ganze Gebiet auf zehn Minuten festgelegt, was einer durchschnittlichen Wartezeit von fünf Minuten für die Fahrgäste entspricht. Als maximale Wartezeit werden sechs Minuten festgelegt. Ab Sennhof-Kyburg verkehrt die S26 im Halbstundentakt nach Winterthur.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 33/88

Die Fahrzeuge werden von einem Flottenbetreiber zentral gesteuert und auf die Bestellungen disponiert. Die selbstfahrenden Fahrzeuge tanken selbständig und während der Betriebspause bzw. in Schwachlastzeiten. Die pro Tag zurückgelegten Fahrzeugkilometer (Fzkm) lassen sich mit einem einzigen Ladevorgang bewältigen.

4.4.2 Nachfrage

Die Berechnung des Verkehrsaufkommens im Tösstal ergibt sich aus der Anzahl Personenfahrten im ÖV mit Quelle oder Ziel in einer Tösstaler Verkehrszelle. Gerechnet wurden der Binnenverkehr sowie der Verkehr mit Ziel oder Quelle im Tösstal; der Durchgangsverkehr wurde vernachlässigt. Als kleinste räumliche Untersuchungsebene wurde die Gemeinde gewählt. Die Daten für die Berechnungen stammten aus dem Zürcher Gesamtverkehrsmodell. Sie lagen als Quelle-Ziel-Matrizen vor. Selbstfahrende Fahrzeuge sind für die Endkunden attraktiver zu nutzen als traditionelle Busverbindungen, weil sie (relativ) direkt und umsteigefrei zum Ziel fahren und fast jederzeit verfügbar sind. Dies dürfte auch zu einer gesteigerten Nachfrage nach dem „neuen ÖV“ mit Robovans führen. Berücksichtigt wurde dies, indem jede bisherige ÖV-Verbindung zwischen zwei Gemeinden mit einer neuen, direkten Verbindung im Robovan bezüglich Fahrzeit, Takt und Umsteigevorgängen verglichen wurde. Darauf basierend wurden die Veränderungen der Personenfahrten anhand von Reisezeit- und Intervallelastizitäten ausgerechnet. An einem durchschnittlichen Werktag (DWV) ist mit rund 11'678 Personenfahrten zu rechnen. Pro Personenfahrt wird eine durchschnittliche Strecke von 7.72 km in den Robovans zurückgelegt, was einer Verkehrsleistung von 90'128 Personenkilometer pro DWV entspricht. Auf der Teilstrecke der S26 von Sennhof-Kyburg bis Winterthur werden rund 34'852 Personenkilometer pro DWV zurückgelegt.

Für die Bewältigung aller Fahrtenwünsche fahren die Robovans insgesamt rund 50'000 km pro durchschnittlichem Wochentag (inkl. Leerfahrten). Die S26 fährt auf der Teilstrecke Sennhof-Kyburg – Winterthur rund 524 km pro durchschnittlichem Wochentag.

4.4.3 Flottengrösse

Um die benötigte Flottengrösse zu ermitteln, muss zuerst die Fahrleistung (geleistete Distanz der Robovans) berechnet werden. Diese wird aus der Nachfragematrix unter Berücksichtigung von Auslastung und Fahrdistanzen¹⁷ berechnet. Für die Auslastung wurde je ein Tagesdurchschnitt (1.5 Personen für periphere Gemeinden, 2.5 Personen für zentraler gelegene Gemeinden) und die Auslastung in der Spitzenstunde (2 bzw. 3 Personen pro Fahrzeug) eingesetzt. Diese Werte orientieren sich an der Studie von Bösch et al. (2017), welche mit einer Auslastung der Robovans mit 2.6 in der Spitzenstunde und 2.4 in den Randverkehrszeiten rechnen. Weil die Fahrzeuge zusätzlich Leerfahrten bestreiten müssen, ergibt sich ein zusätzlicher Zuschlag von 17.6% auf die Fahrleistung (Bösch et al. 2017). Zudem wurde pro Personenfahrt ein Malus von 500 m dazugerechnet (vgl. getroffene Annahmen). Die Flottengrösse ergibt sich danach aus der durchschnittlichen Auslastung der Fahrzeuge, der Fahrzeiten pro Personenfahrt¹⁸ und somit der Anzahl Fahrten, sowie der Produktivität. Der letzte Faktor wird insbesondere bestimmt durch die Zeiten, die ein Flottenfahrzeug nicht produktiv sein kann (Reinigung, Unterhalt, Batterieladevorgang), sowie Zeitverlusten infolge von Leerfahrten oder Wartezeiten. Angelehnt an Bösch (2017) wurde mit Produktivitäten von 60% in der Spitzenstunde und 50% im Tagesmittel gerechnet. Die Flottengrösse wurde so berechnet, dass sie eine durchschnittliche Stunde in der Abendspitze abzudecken vermag.

¹⁷ Gemeindezentrum-Gemeindezentrum, aus google maps ausgelesen. Weil sie für viele Fahrgäste einen kleinen Umweg fahren müssen, wird zusätzlich ein weiterer Zuschlag von 500 m pro Personenfahrt eingesetzt.

¹⁸ Die Fahrzeiten wurden aus google maps ausgelesen. Für jede Personenfahrt wurde eine Fahrzeitverlängerung von einer Minute hinterlegt.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 34/88

Für eine gute Bedienung des Tösstals mit Robovans wird in der Spitzenstunde eine Flottengrösse von rund 174 Fahrzeugen benötigt, in der übrigen Tageszeit wären 101 Fahrzeuge genügend. Daraus resultiert eine grosse Herausforderung für einen potenziellen Flottenbetreiber. Entweder lastet er die vorhandenen Fahrzeuge ausserhalb der Abendspitze besser aus, oder er führt nur rund 100 Fahrzeuge und organisiert in den Spitzenstunden ein leistungsstärkeres Angebot, z.B. mit grösseren Gefässen auf den wichtigsten Verbindungen oder durch Anmietung von Fahrzeugen (z.B. aus privaten Flotten). Eine weitere Herausforderung entsteht durch die vielen Pendler, die an den Umsteigehubs in den Spitzenstunden eintreffen. Die Konsequenzen für den Fern- und S-Bahnverkehr werden in Kapitel 5.1 beschrieben.

4.4.4 Kosten und Erträge

Die Betriebskosten ergeben sich aus Fahrleistung in km und einem Vollkostentarif pro km für selbstfahrende Fahrzeuge mit acht Sitzplätzen. Hier wurde mit 55 Rappen pro Kilometer gerechnet, einem Wert aus Bösch 2017 (siehe Anhang). Die Erträge werden errechnet aus den Einnahmen pro Personenfahrt (CHF 1.70) und Einnahmen pro Pkm (16 Rappen). Für die Teilstrecke Sennhof-Kyburg nach Winterthur mit der S26 wird mit einem Vollkostensatz von CHF 13.25 pro Fahrzeugkilometer gerechnet. Dieser ergibt sich aus den Angebotskosten der Status Quo Referenzvariante.

Die folgende Tabelle 8 zeigt Kosten, Erträge und Kostendeckungsgrad der Variante 3 (als Basis dient das Jahr 2013).

Tabelle 8: Kosten und Erträge der Variante 3

	V3
Fahrzeug-km (Robovan)	16'394'761
Zug-km Bahn (S26)¹⁹	210'240
Personenfahrten	3'834'997
Kosten SFF	9'017'119
Kosten S26	2'785'680
Kosten Total	11'802'799
Ertrag SFF	9'903'884
Ertrag S26	3'182'380
Ertrag Total	13'086'264
Gewinn	1'562'857
Kostendeckungsgrad	111%

Quelle: eigene Darstellung

Ein Ersatz des heutigen ÖV-Angebotes durch selbstfahrende Fahrzeuge wäre finanziell attraktiv. Mit Einnahmen von CHF 13.1 Mio. und Kosten von CHF 11.8 Mio. würde der Kostendeckungsgrad im Tösstal bei rund **111%** liegen. Damit ist ein selbsttragendes Angebot bzw. gewinnbringendes Modell gegeben, in dem auf Subventionen verzichtet werden kann.

Bei einer Betrachtung der Variante 3 ohne die S26 Teilstrecke Sennhof-Kyburg bis Winterthur fallen die gesamten Einnahmen pro Personenfahrt dem System mit SFF zu (im Gegensatz zur gerechneten Variante 3, wo die Erträge pro Personenfahrt von und nach Winterthur zu je 50% dem System

¹⁹ Teilstrecke Sennhof-Kyburg nach Winterthur mit der S26

Luzern, 11. April 2018
 Seite 35/88

SFF und der SBB für die Linie S26 zugeschlagen wurden). Die Erträge würden sich damit bei gleichen Kosten um 1.4 Mio. auf total 11.3 Mio. erhöhen. Somit läge der Kostendeckungsgrad im Tösstal ohne die S26 bis Winterthur sogar bei 125%.

4.4.5 Investitionen in die Flotte

Die Investitionskosten belaufen sich auf CHF 100'000 pro Robovan²⁰. Die Abschreibung ist in den Vollkosten berücksichtigt. Die gesamte Flotte benötigt somit Investitionen von CHF 17.4 Mio., was für einen kleinen regionalen Anbieter (z.B. von Busreisen) nicht einfach zu bewältigen wäre.

4.4.6 Robustheit bzw. Sensitivitäten

Da die Variante 3 im Vergleich zu den anderen untersuchten Varianten auf deutlich mehr Annahmen basiert, wird diese Variante (sowie Variante 4 auch) auf ihre Robustheit hin überprüft.

Aufwände für die tägliche Reinigung:

Die Aufwände für die tägliche Reinigung spielen eine entscheidende Rolle. Weil in den Fahrzeugen nur teilweise eine soziale Kontrolle vorhanden ist und weil sie intensiv genutzt werden, muss mit substanziellen Aufwendungen für die Reinigung und mit Vandalismusschäden gerechnet werden. Mit 25% höheren Kosten für die Robovans könnte nur noch ein Kostendeckungsgrad von 93% erreicht werden; es wäre bereits kein selbsttragendes Geschäftsmodell mehr gegeben. Die finanziellen Vorteile der Variante 3 gegenüber der Variante 2 sind also nicht derart robust, wie es die Zahlen auf den ersten Blick vermuten lassen.

Grösse der Fahrzeuge:

Für die Berechnungen wurde eine Fahrzeuggrösse von acht Personen angenommen (Robovans). Grundsätzlich könnte aufgrund der insgesamt tiefen Auslastung in fast allen Fällen auch auf Robotaxis mit vier Sitzplätzen umgestellt werden. Problematisch würde dies nur dann, wenn eine S-Bahn-Verbindung eine hohe Nachfrage aufweist und damit zu Problemen an den Umsteigehubs führen würde (siehe oben). Mit Robotaxis würden die Kosten deutlich geringer ausfallen. Würde davon ausgegangen, dass in den meisten Fällen auch ein selbstfahrendes Taxi reicht, so würden die Betriebskosten noch bei 39 Rp/Pkm liegen (Bösch et al. 2017: 17). Somit wären ein Deckungsgrad von 143% und damit ein höchst rentables Geschäftsmodell gegeben.

Höhere Erlöse pro PKM

Für die Berechnung der Erlöse wurde bei allen Varianten mit einem Erlös von 16 Rappen pro Pkm gerechnet. Es wäre aber durchaus denkbar, dass für einen Tür-zu-Tür Service höhere Preise verlangt werden könnten. Würden beispielsweise die Kilometerpreise für die SFF um 25% erhöht, würde sich der Kostendeckungsgrad für die Variante 3 auf 121% erhöhen. Die folgende Tabelle 9 zeigt in der Übersicht beispielhaft die Sensitivitätsanalysen für eine Erhöhung der Betriebskosten, für einen Einsatz kleinerer Fahrzeuge sowie eine Erhöhung der Einnahmen pro Pkm.

²⁰Bösch et al. (2017) arbeiten mit aktuellen Anschaffungskosten von CHF 66'000, was angesichts der hohen technischen Anforderungen an selbstfahrende Fahrzeuge im ÖV eher zu defensiv scheint.

Luzern, 11. April 2018
Seite 36/88

Tabelle 9: Sensitivitätsanalyse für Variante 3

	Robovans	Kosten pauschal +25%	Robotaxis	Einnahmen pro Pkm +25%
Betriebskosten SFF (CHF)	9'017'119	11'271'398	6'393'957	9'017'119
Betriebskosten S26 (CHF)	2'785'680	2'785'680	2'785'680	2'785'680
Einnahmen (CHF)	13'086'264	13'086'264	13'086'264	14'270'151
Kostendeckungsgrad	111%	93%	143%	121%
Kosten pro Personenfahrt SFF (CHF)	2.35	2.94	1.67	2.35
Investitionen Fahrzeugflotte (CHF)	17'400'000	17'400'000	8'700'000	17'400'000

Quelle: eigene Berechnungen

Weitere wichtige Einflussfaktoren spielen eine grosse Rolle in Bezug auf den Kostendeckungsgrad. Diese werden nachfolgend besprochen.

Durchschnittliche Auslastung:

Die durchschnittliche Auslastung der Fahrzeuge ist eine Grösse, welche die Produktion und die Anzahl benötigter Fahrzeuge stark beeinflusst. Gelingt es die durchschnittliche Auslastung beispielsweise in der Abendspitze um durchschnittlich eine Person zu erhöhen, werden nur noch 136 Fahrzeuge benötigt (statt 174), und der Deckungsbeitrag läge bei 143%. Liegt die Auslastung niedriger, steigt die Zahl der benötigten Fahrzeuge entsprechend.

Einsteigermalus pro Personenfahrt:

Die Höhe des Einsteigermalus, das heisst der Umweg für das Abholen „vor der Haustüre“, erhöht die Fahrtenlänge (in Min und Fzkm) und ist somit ein wichtiger Treiber für die Höhe der Betriebskosten. Wird statt einer Minute und 500 m ein Umweg von zwei Minuten und einem Kilometer pro Fahrgast benötigt, sinkt der entsprechende Deckungsbeitrag auf 104%, und es bräuchte auch mehr Fahrzeuge (206 statt 174).

Produktivität:

Steigt die Produktivität (d.h. gelingt es, die Ladezeit, Transferzeit oder Wartezeit zu minimieren), so sind mehr Personenfahrten pro Fahrzeug möglich. Nimmt beispielsweise die Produktivität um 10 Prozentpunkte zu, werden in der Abendspitze 24 Fahrzeuge weniger benötigt. Eine Steigerung der Produktivität reduziert auch die gefahrenen Kilometer bei den Leerfahrten. Bei 10% weniger Leerfahrten würde sich auch der Kostendeckungsgrad um einen Prozentpunkt verbessern.

Anzahl Verbindungen pro Stunde:

Wird eine höhere Wartezeit für einen Robovan in Kauf genommen, verringert das die Anzahl angebotener Verbindungen pro Stunde und beeinflusst somit die Nachfrage. Unter Annahme der zugrundeliegenden Elastizitäten würde beispielsweise die Nachfrage um rund 9% abnehmen, wenn die Anzahl angebotener Verbindungen halbiert wird (d.h. die Wartezeit beträgt dann durchschnittlich zehn statt fünf Minuten).

Luzern, 11. April 2018
 Seite 37/88

Abweichungen von den angenommenen Kostensätzen:

Ein Grossteil der getroffenen Annahmen basiert auf der Studie von Bösch (2017). Diese getroffenen Annahmen haben einen grossen Einfluss auf die Resultate der Variante 3. Liegen beispielsweise die durchschnittlichen Besetzungsgrade und die Produktivität 10% tiefer und die Vollkosten pro Fahrzeugkilometer 10% höher, ist ein Geschäftsmodell mit selbstfahrenden Fahrzeugen bereits nicht mehr kostendeckend. Die relativ tiefe durchschnittliche Auslastung der Robovans von 2,6 Personen erlaubt zudem die Überlegung, an Stelle der Robovans neu Robotaxis einzusetzen (s. Tabelle 9). Dadurch würde der Deckungsgrad auf 143% steigen.

Offene Fragen: Personalbedarf, Sicherheit und Service, Komfort:

Neben den in diesem Kapitel erwähnten Annahmen, welche auf ihre Robustheit überprüft wurden, gibt es einige weitere offenen Fragen, die einen erheblichen Einfluss auf die Erfolgchancen eines Geschäftsmodelles mit SFF haben. Weitere Unsicherheiten, die sich im Rahmen dieser Studie allerdings nicht beantworten lassen, sind beispielsweise:

- Werden geharte Robovans tatsächlich von den Nutzerinnen und Nutzern akzeptiert?
- Wird ein unbegleiteter Robovan als sicher empfunden, oder wird – zumindest zu bestimmten Zeiten – eine Begleitung durch Servicepersonal oder eine «Solo-Fahrt» erforderlich?
- Wie kann bei älteren oder in ihrer Mobilität eingeschränkten Fahrgästen gewährleistet werden, dass sie sicher ein- und aussteigen sowie Platz nehmen können und nicht stürzen?
- Wie sehen die Reaktionen z.B. im Falle eines Sturzes aus – welche Anforderungen an den Service stellen die Fahrgäste?
- Führt der gegenüber Schienenbahnen geringere Fahrkomfort während der Fahrt dazu, dass die Nutzung weniger attraktiv ist?

4.5 Variante 4: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bus und S26 fährt autonom

In der Variante 4 ist die S26 auf der ganzen Länge in Betrieb. Sie wird autonom betrieben, wodurch 15% tiefere Betriebskosten gegenüber einer konventionell betriebenen Linie entstehen (vgl. Kapitel 3.2). Alle heutigen Busverbindungen werden durch Robovans ersetzt; die privaten Autos hingegen verkehren analog der Variante 3 weiterhin. Alle Binnenfahrten innerhalb des Untersuchungsperimeters des Tösstals werden von Tür zu Tür betrieben. S-Bahnfahrten innerhalb des Untersuchungsperimeters wurden auf geringer Relevanz vernachlässigt. Für Fahrten aus dem Tösstal hinaus werden die Gäste entweder an einen Hub ausserhalb (analog Variante 3) oder an eine S-Bahnstation innerhalb des Perimeters gefahren. Die Anschlusspunkte auf die Haltestellen der S26 liegen bei den bestehenden Stationen innerhalb des Untersuchungsperimeters (s. Abbildung 2). Für die Berechnung der Nachfrage sowie der Kosten und Erträge wurden zusätzlich zu denjenigen in Variante 3 (s. Kapitel 4.4) folgende, weitere Annahmen getroffen:

- Kurze Wege zu und von den S-Bahnstationen werden zu Fuss zurückgelegt. Für Gemeinden mit einer Station der S26 wurde zunächst jener Anteil der Fahrgäste geschätzt, der zu Fuss zu einer Station gehen kann. Hierfür wurde aufgrund einer kartographischen Einschätzungen festgelegt, welcher Anteil des Siedlungsgebiets der jeweiligen Gemeinde innerhalb einer (fussgängerfreundlichen) Distanz von maximal 750 Metern zu den Stationen liegt. Betroffen sind die Gemeinden Wila, Bauma, Turbenthal und Zell. Die Einteilung folgte jeweils in 20%-Schritten. Für die Gemeinden Wila, Bauma und Zell wurde ein Wert von 60%, und für Turbenthal ein Wert von 40% an zu Fuss Gehenden geschätzt. Bei der Berechnung der Reisezeiten wurde die Annahme getroffen, dass die Fussgänger durchschnittlich fünf Minuten zum Bahnhof benötigen.

- Alle jene Bewohner der oben erwähnten Gemeinden an einer S-Bahnstation, die weiter als 750 m von der Station entfernt wohnen, fahren in der Variante 4 mit dem Robovan zur S-Bahnstation. Für sie wurde eine Distanz von 2 Kilometern und eine Fahrtzeit von 3 Minuten einkalkuliert²¹. Für Robovan-Fahrten wurde ein Umsteigegalus zur S-Bahn miteingerechnet, bei den zu Fuss Gehenden hingegen nicht.
- Für jede Verbindung mit einem Ziel- resp. Startort ausserhalb des Untersuchungsperimeters wurde geprüft, ob die Nutzung der S26 attraktiv erscheint. Wo dies der Fall war, wurde die Verbindung von der Startgemeinde zur S-Bahnstation mit den Fahrzeiten der Robovans (analog zur Variante 3) berechnet. Die anschliessende Fahrtzeit und Distanz mit der S26 nach Winterthur oder Steg (Systemgrenzen) wurden hinzu addiert. Die Routenwahl fiel jeweils auf die Variante mit der kürzesten Fahrtzeit. Im Vergleich zur Variante 3 können bei gewissen Relationen jedoch kleinere Zeiteinbussen entstehen, da die Fahrt mit dem Robovan zum Hub Sennhof-Kyburg je nach Ausgangsgemeinde direkter ist als die Fahrt zu einer Bahnstation innerhalb des Untersuchungsperimeters und von dort nach Winterthur. Für die Fahrten in südlicher Richtung (nach Steg) entstehen keine Zeiteinbussen.
- Der durchschnittliche Besetzungsgrad der Robovans wurde aus der Variante 3 übernommen.

4.5.1 Angebotskonzept

Beim Angebotskonzept wird für die Variante 4 von den folgenden Annahmen ausgegangen. Im Tösstal verkehren selbstfahrende Robovans mit acht Sitzplätzen. Sie verkehren täglich von 05:00-01:00 Uhr und ersetzen das heutige Busangebot im untersuchten Perimeter vollständig. 81% aller Fahrgäste werden vor ihrer Haustüre abgeholt und direkt an ihren Zielort gebracht (bzw. umgekehrt). Lediglich jene Fahrgäste, die in einem Umkreis von 750 Metern zu einer S-Bahnstation der S26 wohnen, gehen zu Fuss zur Bahnstation (sofern sie nicht mit dem Robovan zu einem Hub ausserhalb des Perimeters fahren müssen). Die Fahrgäste mit Start oder Ziel in der Gemeinde Zell wurden gleichmässig auf die zwei S-Bahn-Stationen Rämismühle-Zell und Rikon verteilt. Dies hat den Hintergrund, dass sich beide S-Bahnstationen in der Gemeinde Zell befinden und beide Stationen schätzungsweise das gleiche Einzugsgebiet haben.

Für Fahrten, die ausserhalb des Untersuchungsperimeters Tösstal beginnen resp. enden, steigen die Fahrgäste an einem der sieben Knotenpunkte (Hubs) oder an einer der sieben S-Bahn-Stationen innerhalb des Untersuchungsperimeters auf den Fernverkehr bzw. die S-Bahn um. Als Hubs wurden analog zur Variante 3 Sennhof-Kyburg, Illnau, Fehraltorf, Pfäffikon, Wetzikon, Steg und Eschlikon definiert, bei den Stationen der S26 liegen Kollbrunn, Rikon, Rämismühle-Zell, Turbenthal, Wila, Saland und Bauma im Perimeter. Die Systemgrenzen wurden für die S26 in Winterthur bzw. in Steg gesetzt; für die Robovans wurde die Systemgrenze analog zur Variante 3 bei den Hubs festgesetzt. Es kann also entweder an einer S-Bahnstation im oder an einem Umsteigehub ausserhalb des Untersuchungsperimeters auf den schienenengebundenen Verkehr umgestiegen werden. Das Angebot der Variante 4 wirkt sich aufgrund der Berücksichtigung der Fusswege zu den Haltepunkten der S26 als einzige betrachtete Variante positiv auf die Gesundheit der ÖV-Fahrgäste aus.

Für die Variante 4 wurde analog zur Variante 3 ein Takt von zehn Minuten für die selbstfahrenden Robovans und als maximale Wartezeit sechs Minuten hinterlegt. Ab den S-Bahnstationen verkehrt die S26 im Halbstundentakt zwischen Winterthur und Bauma und zwischen Bauma und Steg im Stundentakt. Dies entspricht dem Angebotskonzept der S26 Stand 2015. Für die Robovans, die zu

²¹ Es handelt sich hierbei um eine Einschätzung der durchschnittlichen Distanz von Siedlungsgebiet ausserhalb von 750 m zur nächsten S-Bahn-Station. Die betroffenen Gemeinden weisen relativ kompakte Siedlungen auf und sind zudem in ihrer Grösse überschaubar, weshalb die Kalkulation von zwei Kilometern angemessen erschien. Für die eingeschätzten zwei Kilometer Fahrdistanz wurden drei Minuten Fahrtzeit einberechnet, was einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 40 km/h entspricht.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 39/88

den S-Bahn-Stationen verkehren, wurde die Annahme getroffen, dass ein Gast sich den Robovan so bestellt, dass die Umsteigezeiten möglichst kurz sind (keine durchschnittliche Wartezeit).

4.5.2 Nachfrage

Die Berechnung des Verkehrsaufkommens durch Robovans ergibt sich analog zur Variante 3 aus der Anzahl der zurückgelegten Personenfahrten, die Quelle und/oder Ziel im Tösstal haben und nicht nur mit der S26 zurückgelegt werden; die Nutzung der S26 berechnet sich aus der Anzahl an Personenfahrten aus dem Untersuchungsperimeter und vom Hub Sennhof Kyburg nach Winterthur oder Steg. Gerechnet wurden der Binnenverkehr sowie der Verkehr mit Ziel oder Quelle im Tösstal; der Durchgangsverkehr auf der S26 wurde vernachlässigt.

Im Vergleich zur Variante 3 liegt die Nachfrage nach Fahrten mit einem Robovan in Variante 4 deutlich tiefer: an einem durchschnittlichen Wochentag ist mit 9'181 Personenfahrten (Variante 3: 11'678) zu rechnen. Diese Abnahme der Personenfahrten auf den Robovans entsteht durch die Substitution von Robovan-Fahrten durch zurückgelegte Fusswege zur S26 in den Gemeinden Wila, Baum, Zell und Turbenthal. Diese Fahrgäste wurden lediglich im System der S-Bahn einberechnet, da sie keinen Robovan benötigen. Pro Personenfahrt wird eine durchschnittliche Strecke von 6.27 km (V3: 7.72km) mit Robovans zurückgelegt. Dies entspricht einer Verkehrsleistung von total 57'523 Personenkilometer pro Wochentag (V3: 90'128).

Für die Bewältigung aller Fahrtenwünsche fahren die Robovans insgesamt rund 29'622 km pro durchschnittlichem Wochentag, was einer Abnahme von 41% gegenüber Variante 3 entspricht. Diese beträchtliche Reduktion aufgrund der Berücksichtigung der Fusswege und der kürzeren Fahrtwege zu den S-Bahn-Stationen anstatt nach Sennhof-Kyburg wirkt sich positiv auf die Verkehrsbelastung aus. Die S26 fährt auf der Strecke Steg – Winterthur 2'105 km pro Wochentag. Mit der S26 werden in Variante 4 rund 76'150 Personen-km pro Tag zurückgelegt²².

4.5.3 Flottengrösse

Die für die Bewältigung der Abendspitze benötigte Flottengrösse der Robovans verkleinert sich im Vergleich mit der Variante 3 deutlich von 174 auf 111. Grund dafür sind kürzere Fahrdistanzen und Reisezeiten mit den Robovans zwischen den Ausgangsgemeinden und den S-Bahn-Stationen. Ein Fahrzeug kann so mehr Fahrten pro Zeiteinheit leisten und entsprechend mehr Fahrgäste transportieren. Zudem kommt es aufgrund der Berücksichtigung von Fusswegen zu den S-Bahn-Stationen zu einer Abnahme der Personenfahrten, wodurch sich die Zahl der Fahrzeuge wiederum reduziert. Die Berechnung der Flottengrösse deckt die Nachfrage einer durchschnittlichen Stunde in der Abendspitze ab, die in der Variante 4 auf den Robovans weniger stark ausgeprägt ist als in Variante 3 (viele Fahrgäste benutzen die S26 bis zum Ziel bzw. kombinieren diese mit einem Fussweg).

Für eine nachfrageorientierte Bedienung des Tösstals mit Robovans wird wie oben erwähnt in der Spitzenstunde eine Flottengrösse von 111 Fahrzeugen benötigt; die Zahl reduziert sich sogar auf 63 Fahrzeuge für die restliche Tageszeit. Im Vergleich zur Variante 3 sind damit in der Abendspitze 63 Fahrzeuge weniger notwendig, woraus für den Flottenbetreiber tiefere Investitions- und Betriebskosten resultieren. Die Situation an den Hubs hat sich in der Variante 4 zudem verbessert, da sich die Fahrzeuge hier auf diverse Stationen der S26 verteilen.

²² Die Berechnung der Personenkilometer für die S26 basieren auf einer methodischen Vereinfachung. Es wurde das Verhältnis aus dem vorhandenen Datenmaterial und der berechneten Elastizitäten zur Hilfe gezogen, für die Berechnung der Personenkilometer.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 40/88

4.5.4 Kosten und Erträge

Wie in Variante 3 ergeben sich die Betriebskosten für die Robovan-Flotte aus der Fahrleistung in km und einem Vollkostentarif pro km für selbstfahrende Fahrzeuge mit acht Sitzplätzen. Gerechnet wurde wiederum mit 55 Rappen pro Kilometer (Bösch et al., 2017). Die Erträge werden aus den Einnahmen pro Personenfahrt (CHF 1.70) und den Einnahmen pro Pkm (16 Rappen) errechnet. Die Erträge für das System Robovan ergeben sich aus den Fahrten im Binnenverkehr, zu den Hubs sowie zu den S-Bahnstationen. Bei kombinierten Fahrten wurden die Erträge jeweils hälftig dem Robovan- und dem S-Bahn-System zugerechnet. Für die S26 zwischen Winterthur und Steg wird mit einem Vollkostensatz von CHF 11.26 pro Fahrzeugkilometer gerechnet. Dies entspricht einer Reduktion der Angebotskosten der Referenzvariante um 15% (s. Kapitel 4.2.3). Die unten stehende Tabelle zeigt Kosten, Erträge und Kostendeckungsgrad der Variante 4 im Überblick.

Tabelle 10: Kosten und Erträge der Variante 4

	V4
Fahrzeug-km (Robovan)	9'727'467
Zug-km Bahn (S26)²³	768'179
Personenfahrten (Robovan)	3'015'059
Personenfahrten (S26)	1'777'153
Kosten SFF	5'350'107
Kosten S26	8'651'616
Kosten Total	14'001'723
Ertrag SFF	9'046'341
Ertrag S26	6'123'956
Ertrag Total	15'170'297
Gewinn	1'168'574
Kostendeckungsgrad	108%

Quelle: eigene Darstellung

Eine Kombination aus einem Robovan-System und der automatisierten S-Bahnlinie S26 wäre mit den getroffenen Annahmen kostendeckend. Mit Einnahmen von CHF 15'170'297 Mio. und Kosten von CHF 14'001'723 Mio. wäre ein Kostendeckungsgrad von 108% möglich. Dieser liegt somit unter demjenigen der Variante 3 mit 111%. Als Haupttreiber hierfür wurden die im Vergleich zu den Robovans höheren Betriebskosten der S26 identifiziert. Zudem fallen durch die Einberechnung von Fusswegen auch viele Wege mit Robovans weg. Sowohl die gesamten Betriebskosten als auch die Erträge sind in der Variante 4 höher als in Variante 3, jedoch sind die Kosten stärker angestiegen als die Einnahmen. Der Kostendeckungsgrad ergibt sich aus dem Verhältnis aus den summierten Erträgen und Kosten der Teilsysteme Robovan und S26. Bei getrennter Betrachtung der Systeme zeigt sich, dass mit einer Kostendeckung von 169% das Robovan-System sehr rentabel ist und das S-Bahn-System kofinanziert, das mit einem Kostendeckungsgrad von 71% keinen Gewinn erzielen kann (aber immer noch einen besseren KDG als in allen anderen Varianten aufweist).

²³ Teilstrecke Sennhof-Kyburg nach Winterthur mit der S26

Luzern, 11. April 2018
Seite 41/88

4.5.5 Investitionen in die Flotte

Die Investitionskosten belaufen sich auf CHF 100'000 pro Robovan²⁴. Daraus ergibt sich ein notwendiges Investitionsvolumen von 11.1 Mio. CHF. Die Investition in die Flotte ist zwar immer noch sehr hoch, hat sich zur Variante 3 aber um 36% reduziert. Grund hierfür ist die kleinere Zahl an notwendigen Robovans aufgrund der niedrigeren Anzahl an notwendigen Personenfahrten. Zudem sind die Reisezeiten und zurückgelegten Distanzen in Variante 4 tiefer, wodurch ein Robovan pro Zeiteinheit mehr Fahrtwünsche erfüllen kann als in Variante 3.

4.5.6 Robustheit bzw. Sensitivitäten

In Bezug auf die Robustheit der Variante 4 kann auf die in Variante 3 besprochenen Punkte zurückgegriffen werden. In Tabelle 11 wurden deshalb dieselben Berechnungen wie in Tabelle 9 gemacht.

Tabelle 11: Sensitivitätsanalyse für Variante 4

	Robovans	Kosten Robovan pauschal +25%	Robotaxis	Einnahmen pro Pkm +25%
Betriebskosten SFF (CHF)	5'350'107	6'687'634	3'793'712	5'350'107
Betriebskosten S26 (CHF)	8'651'616	8'651'616	8'651'616	8'651'616
Einnahmen (CHF)	15'170'297	15'170'297	15'170'297	16'926'181
Kostendeckungsgrad	108%	99%	122%	121%
Kosten pro Personenfahrt SFF (CHF)	1.77	2.22	1.26	1.77
Investitionen Fahrzeugflotte (CHF)	11'100'000	11'100'000	7'362'000	11'100'000

Quelle: eigene Berechnungen

Es zeigt sich, dass sogar bei einer Betriebskostensteigerung von 25% bei den Robovans noch immer fast ein kostendeckender Betrieb möglich ist. Variante 4 reagiert sowohl auf Kosten als auch auf Einnahmenveränderungen bei den Robovans nur wenig sensibel; insbesondere weniger sensibel als Variante 3. Der Grund dafür liegt darin, dass die S26 eine wichtigere und die Robovans entsprechend eine weniger wichtige Rolle spielen. Die durchschnittlichen Kosten pro Personenfahrt mit dem Robovan haben sich gegenüber Variante 3 reduziert, da kürzere Distanzen nachgefragt werden.

Offene Fragen:

- Könnte durch den Einsatz von Robovans eine Neukonzeption der heutigen S-Bahnstationen sinnvoll werden? Durch eine Reduktion der Haltepunkte für die S26 würden sich die Reisezeiten mit der Bahn verkürzen, wodurch die gesamte Linie an Attraktivität gewinnen könnte. Beim Einsatz von Robovans könnten Fahrten deutlich besser und flexibler angeboten werden als in den Varianten 0 und 1 mit Bussen.
- Wie könnte die Realisierung von Fusswegen und damit der Verzicht auf Kurzfahrten mit einem Robovan gefördert werden? Eine Mindestdistanz für Fahrten mit dem Robovan dürfte kaum durchsetzbar sein; eher müsste vermutlich mit Anreizen gearbeitet werden, auch längere Distanzen zu Fuss zurückzulegen.

²⁴Bösch et al. (2017) arbeiten mit aktuellen Anschaffungskosten von CHF 66'000, was angesichts der hohen technischen Anforderungen an selbstfahrende Fahrzeuge im ÖV eher zu defensiv scheint.

Luzern, 11. April 2018
Seite 42/88

4.6 Vergleich der fünf Varianten

Die untersuchten Varianten unterscheiden sich bezüglich Angebot, Nachfrage, Kosten und Erträge teilweise erheblich voneinander, wie Tabelle 12 zeigt. In Abbildung 8 werden anschliessend die Kostendeckungsgrade der fünf Varianten einander gegenüber gestellt.

Tabelle 12: Vergleich der fünf Varianten

Faktor	V0	V1	V2	V3	V4
Nachfrage Personenfahrten pro durchschnittlichem Wochentag	8'817	8'817	8'988	11'678	9'181 ²⁵
Total gefahrene Fzkm. Bahn	676'508	676'508	-	210'240	768'179
Total Fzkm. Bus/Vans	1'179'696	1'179'696	2'541'228	16'394'761	9'727'467
Kosten pro Jahr	16'225'381	11'211'241	7'940'750	11'802'799	14'001'723
Erträge pro Jahr	8'303'053	8'303'053	8'464'133	13'086'264	15'170'297
Kostenunterdeckung/Gewinn	-7'922'328	-2'908'187	523'383	1'283'465	1'168'574
Kostendeckungsgrad	51%	74%	107%	111%	108%

Quelle: eigene Darstellung

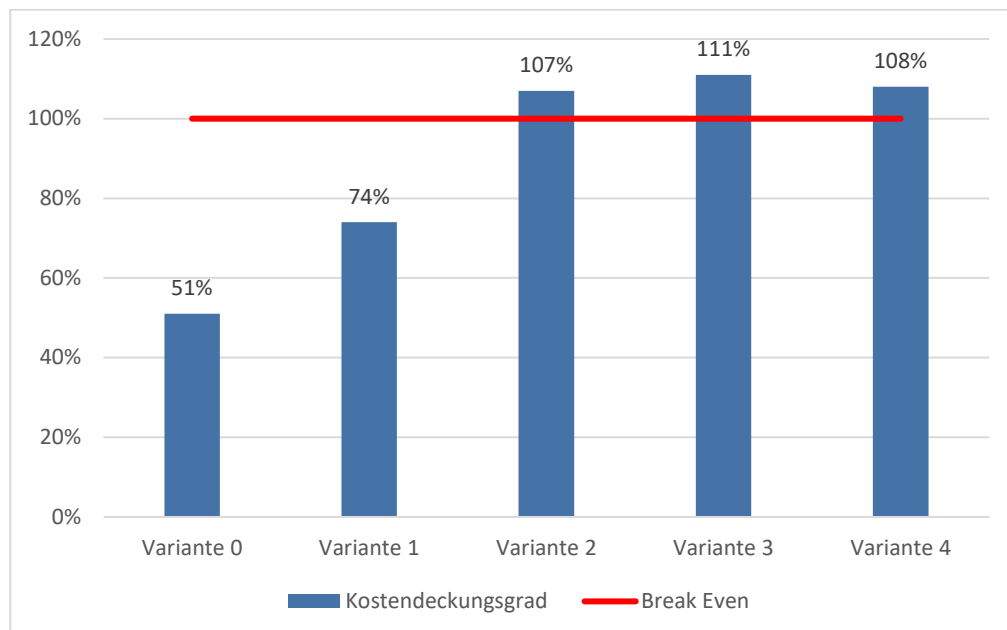


Abbildung 8: Kostendeckungsgrad der fünf Varianten

Quelle: eigene Darstellung

²⁵ Diese Zahl beinhaltet keine Personen, die zu Fuss an eine S-Bahnstation gehen (2'193 Personen).

Luzern, 11. April 2018
 Seite 43/88

Der Vergleich der fünf Varianten macht klar: der Einsatz von selbstfahrenden Fahrzeugen ist für den ÖV im ländlichen Raum eine interessante Option. Bereits mit einer Automatisierung des bestehenden Angebotes (Variante 1) steigt der Kostendeckungsgrad im Vergleich mit dem Stand heute um rund 50% an. Der Ersatz des Bahnangebotes durch selbstfahrende Linienbusse führt zu einer deutlichen Angebotsverbesserung und damit zu einer Nachfragesteigerung. Deutlich mehr Fahrgäste erreichen in einem solchen System ihr Ziel neu ohne Umsteigen. Unter allen Varianten ist dies ausserdem die kostengünstigste Lösung; sie verdient also durchaus eine nähere Untersuchung.

In den Varianten 3 und 4 wurden zwei Angebotskonzeptionen mit selbstfahrenden Kleinbussen (Robovans) untersucht. In beiden gelingt es, durch ein verbessertes Angebot deutlich mehr Fahrgäste anzuziehen und damit mehr Erträge zu generieren. Bei einem Verzicht auf die Bahn liegen die Kosten ungefähr gleich hoch wie bei einer Automatisierung des heutigen Angebots. Bei einer Kombination der S26 mit Robovans liegen sowohl die Betriebskosten als auch die Erträge mit Abstand am höchsten. Sie ist damit gewissermassen eine Premiumvariante bezüglich Erschliessungsqualität. Ausserdem lässt sie sich auch deutlich besser mit dem heutigen ÖV-System kombinieren, wie die Überlegungen in Kapitel 5 aufzeigen.

4.7 Methodische Limitierungen

Die gewählte Methode für die Variantenberechnungen weist einige Limitierungen auf. Alle Varianten beruhen auf diversen Annahmen und weisen relativ hohe Sensitivitäten auf. Bei den Varianten 3 und 4 ist dies insbesondere beim Einsteigerbonus (Umweg für das Abholen „vor der Haustüre“), beim Besetzungsgrad und den angenommenen Kostensätzen der Fall. In der Variante 4 wurde zudem berücksichtigt, wieviele Personen in einem Einzugsradius von 750m zu Fuss zu einer S-Bahn-Station gehen können. Dabei handelt es sich um eine visuelle Einschätzung, und nicht um eine gerechnete Grösse. In den verwendeten Kostensätzen fehlen die Verzinsung des Investitionskapitals sowie eine allfällige Risikoprämie des Betreibers.

Zudem fehlt der räumliche Bezug in dieser Studie, was insbesondere bei den Varianten 3 und 4 ins Gewicht fällt. Das heisst, dass keine Korridorbildungen berücksichtigt wurden. Methodisch adäquater wäre eine akteurbasierte Simulation, in der eine räumliche und zeitliche Verortung der Nachfrage nachvollzogen werden könnte. Diverse Untersuchungen zu selbstfahrenden Fahrzeugen wurden aus diesen Gründen schon mit Simulationen erstellt (Bösch 2016, ITF 2015, Zachariah et al. 2013). Ebenfalls nicht berücksichtigt wurden Kreuzelastizitäten.

Ausserdem wird im vorliegenden Projekt damit gerechnet, dass ausserhalb der Region keine selbstfahrenden Fahrzeuge im Einsatz stehen, und dass Fahrzeuge nie aus der Region hinausfahren. Das Potenzial für selbstfahrende Fahrzeuge wird damit unterschätzt, weil eine Weiterfahrt mit einem selbstfahrenden Minivan beispielsweise in Effretikon oder Eschlikon für viele Fahrgäste wohl sehr interessant wäre, den «wer einmal im Auto sitzt, bleibt darin sitzen.» Davon könnten diverse Bevölkerungsgruppen wie z.B. Menschen ohne Führerschein, Menschen mit eingeschränkter Mobilität, etc. besonders profitieren.

Schliesslich ist anzumerken, dass für die Berechnungen der Nachfrage keine Prognosedaten eingesetzt werden. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass sich so die untersuchten Varianten besser miteinander vergleichen lassen.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 44/88

5 Auswirkungen auf die S-Bahn und den Fernverkehr

Im Folgenden werden die Auswirkungen auf den übergeordneten S-Bahn- und den Fernverkehr beschrieben. In den Varianten 1 und 2 bleiben die Auswirkungen auf den Fernverkehr und den S-Bahnverkehr minim, da sich die Fahrgastzahlen kaum verändern und die Fahrzeuge nach wie vor nach Plan fahren. Aus diesem Grund beziehen sich die folgenden Ausführungen vor allem auf ein System mit selbstfahrenden Robovans wie sie in den Varianten 3 und 4 entwickelt wurden. Dabei zeigt sich, dass die Auswirkungen bei Variante 3 deutlich grösser sind als in den anderen Varianten.

5.1 Situation an den Umsteigehubs in Variante 3

In Variante 2 verkehren auf der heutigen Tösstallinie fünf Busse pro Stunde bis zum Hauptbahnhof Winterthur (vgl. Kapitel 4.3.1). Dadurch würden maximal vier Busse in der HVZ gleichzeitig in Winterthur halten, was zu keinen nennenswerten Verkehrsproblemen um den Winterthurer Hauptbahnhof führen dürfte. Auch an den anderen Hubs dürften kaum Verkehrsprobleme auftreten.

Anders sieht dies in der Variante 3 aus. Da der übergeordnete Verkehr weiterhin im Takt verkehrt und ein grosser Teil der Reisenden an den Hubs vom ÖV auf Robovans (bzw. umgekehrt) wechselt, entsteht hier eine gänzlich neue Umsteigesituation. In der Abendspitze treffen an den Hubs viele Pendler mit der S-Bahn aus den Arbeits- und Ausbildungsstätten ausserhalb der Untersuchungsregion ein. Tabelle 13 zeigt die Anzahl Fahrgäste und Fahrzeuge an den Hubs in der Abendspitzenstunde sowie den Anteil an Weiterreisenden (d.h. Fahrgäste, welche den Hub zum Umsteigen benutzen und nicht als Start oder Ziel ihrer Personenfahrt).

Tabelle 13: Anzahl Fahrgäste am Hub in der Abendspitzenstunde bei Variante 3

	Sennhof-Kyburg	Illnau	Fehraltorf	Pfäffikon	Wetzikon	Steg	Eschlikon
Fahrgäste ASP	547	93	78	301	124	42	2
davon Weiterreisende S-Bahn	547	37	39	84	36	42	2
Anteil an Weiterreisenden	100%	40%	50%	28%	29%	100%	100%
Fahrzeuge ASP	203	35	30	115	46	14	1
davon für Weiterreisende S-Bahn	203	14	15	32	13	14	1
Fahrzeuge pro S-Bahn (1/2-Takt) ²⁶	102	7	8	16	7	7	1
Fahrzeuge pro S-Bahn (1/4-Takt) ²⁷	63	4	5	8	3	4	0

Quelle: eigene Berechnungen

²⁶ Annahme: Die Fahrgäste verteilen sich linear auf die S-Bahnen.

²⁷ Annahme: Die Fahrgäste verteilen sich linear auf die S-Bahnen. Hinweis: Die Verbesserung des Intervalls führt auch zu einer höheren Nachfrage.

Luzern, 11. April 2018
Seite 45/88

In der Abendspitzenstunde treffen zwischen 2 und 547 Fahrgäste an den Hubs ein. Bei einer durchschnittlichen Auslastung der Fahrzeuge in der Spitzenstunde (rund 2.6 Fahrgäste pro Robovan) werden zwischen 1 und 203 Fahrzeuge in der Abendspitzenstunde die Hubs anfahren, um die Nachfrage zu bedienen. An den kleineren Hubs entsteht daraus ein überschaubarer Bedarf an benötigten Halteplätzen für die Robovans, der mit der Umnutzung bestehender Bushaltekanten voraussichtlich abgedeckt werden kann. An den grösseren Hubs hingegen (Pfäffikon und Sennhof-Kyburg) ist mit einer komplett neuen Situation zu rechnen. Zu beachten ist auch die lokale Verteilung der Quellen und Ziele der Fahrten: während in Pfäffikon nur rund ein Drittel der ankommenden Fahrgäste weiterreist, nützen in Sennhof-Kyburg 100% der Fahrgäste den Bahnhof als Umsteigehub.

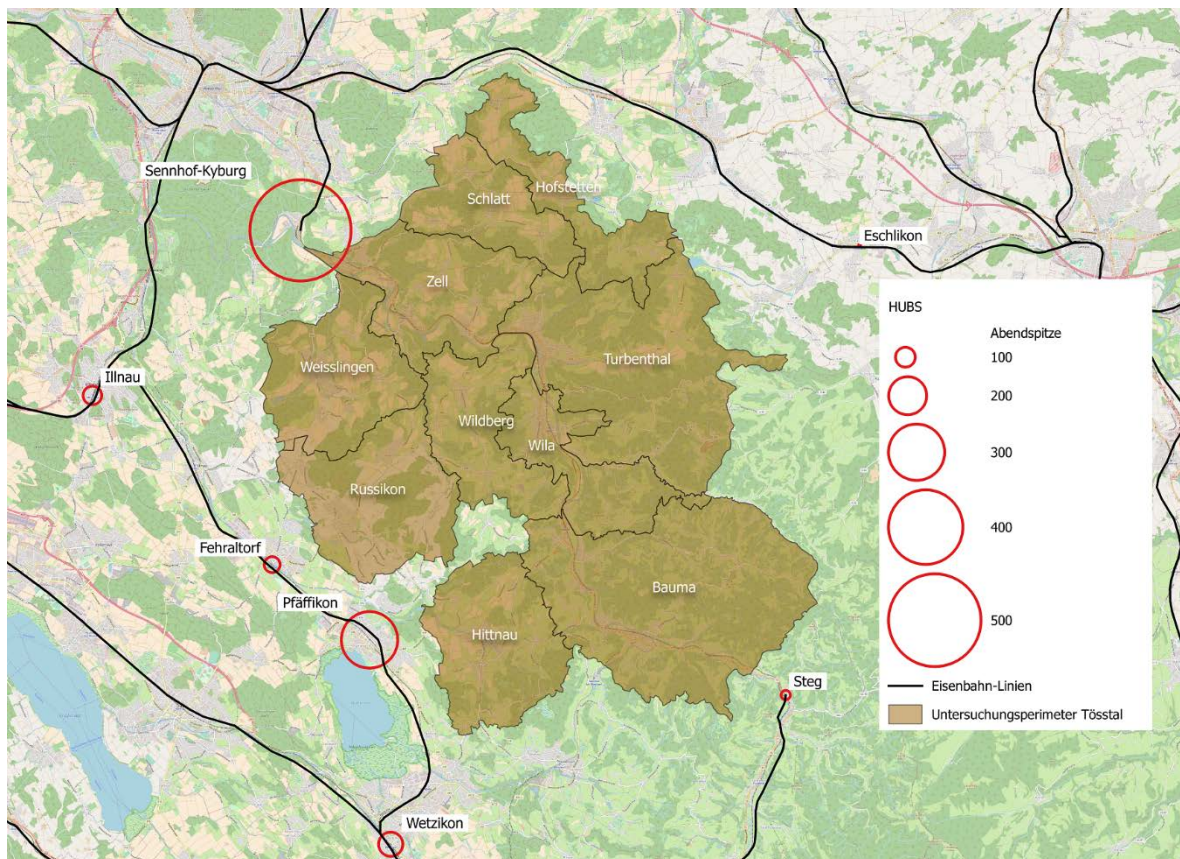


Abbildung 9: Bedeutung der Hubs in der Abendspitze (Variante 3)

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf dem GVM Zürich, Hintergrund: Open Street Maps

5.1.1 Verkehrsprobleme am Beispiel Sennhof-Kyburg

In Sennhof-Kyburg existiert ein Halbstundentakt mit der S26 in Richtung Winterthur (Stand 2013). Bleibt weiterhin ein Halbstundentakt auf dieser Verbindung bestehen, so würden rund 270 Fahrgäste pro S-Bahn (547 Fahrgäste aufgeteilt auf zwei Züge) eintreffen. Bei einer durchschnittlichen Auslastung würden diese mit über 100 Robovans weiterreisen (vgl. Tabelle 13). In der Variante 3 wurde als Qualitätsstandard hinterlegt, dass Fahrgäste maximal sechs Minuten auf einen Robovan warten müssen (vgl. Kapitel 4.4.1). Um dieses Qualitätsniveau beim Eintreffen einer S-Bahn einzuhalten, müssten in Sennhof-Kyburg also 35 Halteplätze (zwei Minuten für den Fahrgastwechsel ergibt drei Fahrzeuge innerhalb von sechs Minuten) geschaffen werden.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 46/88

Dafür wird eine Infrastruktur mit fünf Haltekanten mit jeweils sieben Anhalteplätzen benötigt; über 100 Fahrzeuge würden innerhalb von nur sechs Minuten ein- und ausfahren. Entsprechend sind am Hub Sennhof-Kyburg **grosse Verkehrsprobleme** zu erwarten:

- Für 70 wartende Fahrzeuge (bei 35 bereits auf der Station befindlichen Fahrzeugen) wird ein sehr grosser Stauraum benötigt (z.B. rund 20 Mal 80 Meter plus Verkehrsfläche). Bei einer Fahrzeuglänge von sechs Metern plus jeweils einem Meter Distanz entspricht dies einer Warteschlange von rund 500 Metern. Eine „dynamische Disposition“ mit einem „Warteraum Strasse“ während vier bis sechs Minuten dürfte ebenfalls sehr schwierig zu realisieren sein.
- Die Ausfahrten auf die Kantonsstrasse entsprechen ungefähr einem 3.5-Sekunden-Takt oder 1'000 Fahrzeugen pro Stunde. Dies würde auch bei einer leeren Strasse nur knapp funktionieren. In der Realität würden in Sennhof-Kyburg allerdings viele Linksabbiegemanöver in Richtung Tösstal getätigt. Der notwendige Stauraum nach Aufnahme der Fahrgäste wäre damit mit dem Stauraum bei Ankunft der Fahrzeuge vergleichbar, und der Zeitverlust auf den Ausfahrten beträchtlich.
- Der Platzbedarf für die Haltekanten sowie für die notwendigen Verkehrsflächen und Warteräume beträgt mindestens 6'000m² (entspricht fast einem Fussballfeld) und ist damit nur schwer mit einem sorgfältigen Umgang mit der Ressource Boden vereinbar.
- Die Sicherheit und der Komfort der Fahrgäste wird zur Herausforderung in einem gemischten Verkehrsregime mit laufenden Abfahrten und Zufahrten selbstfahrender Fahrzeuge. Auch die Orientierung der Fahrgäste wird zu einer Herausforderung, falls sie ein genau zugewiesenes Fahrzeug auffinden müssen.

Beim Eintreffen einer S-Bahn liessen sich zwar die Fahrgastströme vermutlich besser planen und organisieren als bei einer durchschnittlichen Verkehrssituation im ländlichen Raum, weil dank einer hohen Nachfragedichte die Bündelung von Fahrten zu bestimmten Zielen leichter fällt. Damit dürfte auch eine höhere Auslastung möglich sein. Bei einer rund doppelt so hohen durchschnittlichen Auslastung von fünf Personen pro Fahrzeug oder einem Viertelstundentakt auf der S-Bahn (vgl. Tabelle 13 und Kapitel 5.1.3) wäre die Verkehrssituation jedoch noch immer als kritisch einzuschätzen (drei Haltekanten mit jeweils sechs Fahrzeugen, Fahrgastwechsel alle zwei Minuten).

Die Orientierung der Fahrgäste vor Ort könnte so gelöst werden, dass wie an einem heutigen Bushub eine «analoge» Vor-Selektion der Fahrgäste mit Haltekanten vorgenommen wird. An Haltekante 1 würde dann beispielsweise immer ein SFF mit Ziel Bauma bereit stehen und mit fünf Fahrgästen an Bord losfahren; an Haltekante 2 ein Fahrzeug Richtung Wila etc. Denkbar ist in diesem Zusammenhang auch ein dynamisches Lernen des Systems, z.B. die Anpassung an Rückmeldungen bzw. die Berücksichtigung von Fahrgastwünschen. Kaum machbar scheint hingegen eine genaue Zuweisung der Fahrgäste auf die Fahrzeuge im Voraus; die Orientierung würde chaotisch und durch die unbekannte Reihenfolge des Eintreffens der Fahrgäste entstünden lange Wartezeiten.

5.1.2 Winterthur (Fernverkehr)

Am Beispiel des Hauptbahnhofs Winterthur können erste weiterführende Überlegungen zum Fernverkehr angestellt werden. Sinngemäss würden in der Variante 3 dieses Projektes auch alle bestehenden Regionalbuslinien ausserhalb des Tösstals durch Robovans ersetzt. Der daraus entstehende Mehrverkehr im Zentrum von Winterthur (für den Umstieg auf den S-Bahn- und Fernverkehr) würde damit noch ein Vielfaches von Sennhof-Kyburg betragen. Dies würde zu kaum lösbaren Raum- und Verkehrsproblemen und einer hohen Belastung der Innenstadt führen. Hinzu kämen ausserdem noch private selbstfahrende Fahrzeuge, die ihre Fahrgäste ins Zentrum bringen und danach in peripherer Lage parkieren könnten.

Luzern, 11. April 2018
Seite 47/88

Als Rechenbeispiel für die Situation aus Richtung Tösstal können die rund 500 Fahrgäste dienen, die in der Morgenspitzenstunde mit der S26 nach Winterthur fahren. Mit einer durchschnittlichen Auslastung von 2,6 Fahrgästen/Fahrzeug entstünden pro Richtung rund 200 zusätzliche Fahrten auf einer Hauptstrasse in Richtung Zentrum, die bereits über der Kapazitätsgrenze genutzt wird. Bei einer Maximalkapazität in der Grössenordnung von 800 Fahrzeugen pro Richtung und Spur würde also nur durch die Umlegung der ÖV-Nachfrage auf Robovans rund weitere 25% an Kapazität beansprucht. Die Frage der Strassenkapazitäten kann in diesem Projekt nicht diskutiert werden; in einem gemischten Stadtverkehr führt aber eine zusätzliche Nachfrage in dieser Grössenordnung mit hoher Wahrscheinlichkeit zu weiteren Verkehrsproblemen auf Strassen und zentralen Plätzen.

Am Beispiel von Winterthur wird ersichtlich, dass sich grosse Umsteigeknoten zwischen dem Fernverkehr und einem System von selbstfahrenden Fahrzeugen kaum in Kernstädten realisieren lassen. Sie sprengen die Platzmöglichkeiten in den Innenstädten und laufen den Bemühungen nach einer Beruhigung der Innenstädte und einer Steigerung der Lebensqualität zuwider. Diese Beobachtungen lassen sich auch sinngemäss auf alle anderen grösseren Bahnhöfe der Schweiz übertragen. Alle grösseren Bahnhöfe der Schweiz befinden sich an zentraler Lage in den jeweiligen Siedlungen.

Einen interessanten Ansatz bieten allenfalls Umsteigeknoten in suburbanen Gebieten, wie sie beim TGV realisiert wurden. Hier können disperse Verkehrsströme gebündelt und direkt an ein Hochleistungssystem angeschlossen werden. Heute werden diese oft von privaten Autos und Taxis angefahren; in Zukunft könnten SFF diese Rolle übernehmen. In diesem Zusammenhang sind auch die Überlegungen der SBB interessant, die IC-Verbindungen zwischen den grossen Städten auch in den Vorstädten halten zu lassen (z.B. in Bern-Wankdorf oder in Zürich-Altstetten).

5.1.3 Handlungsansätze

Die Herausforderungen an den Hubs sind stark davon abhängig, wie der S-Bahn resp. Fernverkehr organisiert ist. Je dichter dessen Takt, desto besser die Verteilung der Passagierströme in der Spitzenstunde. Zusätzlich gibt es mehrere Handlungsansätze, mit denen sich die grossen Umsteigeinfrastrukturen mit viel Verkehr und langen Fussdistanzen vermeiden liessen.

Erhöhung der Taktfrequenz

Wie bereits erwähnt, führt eine Erhöhung der Taktfrequenz der S-Bahn oder Fernverkehrsverbindungen an den Hubs zu einer besseren Verteilung der Passagierströme. Beispielsweise würden (unter Berücksichtigung des Nachfragezuwachs aufgrund dichterem Takt) bei einem Viertelstundentakt noch 63 statt 102 Fahrzeuge oder bei einem 7.5 Minutentakt noch 39 Fahrzeuge gleichzeitig in Sennhof-Kyburg eintreffen. Eine Taktfrequenzverdichtung wäre beispielsweise auch durch eine Verlängerung einer starken S-Bahnlinie (z.B. der S12) ins Tösstal hinein denkbar – die Umsteiger würden sich dann auf mehrere Haltestellen verteilen. Alternativ wäre auch die Erstellung eines neuen, urbanen Verkehrssystems denkbar, beispielsweise einer leistungsstarken Tramverbindung. Diese könnte von Sennhof-Kyburg in relativ dichtem Takt die ankommenden Fahrgäste in die Hubs ins Stadtzentrum bringen. Die Fahrgäste müssten jedoch im Vergleich zur (verlängerten) S12 einmal mehr umsteigen.

Einsatz grösserer Fahrzeuge in der Stosszeit

Eine weitere Möglichkeit wäre, im System der selbstfahrenden Fahrzeuge zu den Stosszeiten grössere Fahrzeuge einzusetzen. Bei einem Einsatz von Bussen mit durchschnittlich 30 Fahrgästen würden in Sennhof-Kyburg neun Haltekanten benötigt. Wird von einem Fahrgastwechsel innerhalb von drei Minuten ausgegangen, könnte diese Zahl sogar auf fünf reduziert werden. Dies liesse sich mit einer oder maximal zwei Haltekanten bewältigen, was wiederum viele der zu erwartenden Probleme

Luzern, 11. April 2018
 Seite 48/88

an den Hubs lösen würde. Insbesondere für die morgendlichen und abendlichen Spitzenzeiten könnten damit eine höhere Zuverlässigkeit und kürzere Umsteigezeiten angeboten werden. Kleinbusse könnten die Fahrgäste allerdings nicht vor der Haustüre abholen. Wie heute würden sie von Haltestellen aus fahren. Für den Fahrgast ergäbe sich dadurch die verwirliche Situation, dass er in den Nebenverkehrszeiten zu Hause und in den Hauptverkehrszeiten an der Haltestelle abgeholt wird.

Verteilung der Nachfrage auf mehrere Hubs

Eine weitere denkbare Alternative wäre, die S11 bis Wila zu verlängern und die Nachfrage nach Winterthur auf mehrere Hubs zu verteilen (Sennhof-Kyburg, Kollbrunn, Rikon, Rämismühle-Zell, Turbenthal, Wila). Die Variante 4 orientiert sich an dieser Überlegung.

Platooning der wegfahrenden Fahrzeuge

Eine technische Möglichkeit zur Steigerung der Kapazitäten bietet das so genannte Platooning. Platooning bedeutet, dass mehrere (im betrachteten Fall wegfahrenden) Fahrzeuge mit einer «digitalen Kupplung» untereinander verbunden sind. Dadurch könnten die Kapazität beim Wegfahren deutlich erhöht und der notwendige Warteraum deutlich kleiner dimensioniert werden. Gerade an einem Übergang von leistungsstarken Gefässen (doppelstöckige S-Bahn) zu einem System mit kleinen Gefässen (Robovans) bieten sich dadurch neue Perspektiven. Aus der Literatur ist bekannt, dass sich die Strassenkapazität durch Platooning sehr stark erhöht (Fernandes & Nunes 2010).

Längere Wartezeiten für die Fahrgäste

In der Variante 3 wird mit einer maximalen Wartezeit von sechs Minuten gerechnet. Wird ein Qualitätsverlust durch längere Wartezeiten in Kauf genommen, ist eine bessere Verteilung der Fahrzeuge in der Spitzenstunde möglich. Allerdings sind lange Wartezeiten wenig attraktiv und es stellt sich die Frage, wie die Fahrgäste auf grosse Zeitreserven bei der Anreise bzw. Wartezeiten bei der Abfahrt reagieren würden. In der Praxis scheint diese Aufgabe schwierig lösbar zu sein. Allenfalls könnte ein flexibles Pricing über die in Kauf zu nehmende Wartezeit bestimmen.

Robovans erfordern Anpassungen am Hubkonzept der Bahn

Dank automatisierter Verkehrsmittel wird der ÖV im ländlichen Raum schneller, flexibler und kostengünstiger. Damit die Verknüpfung mit dem leistungsfähigen übergeordneten Bahnnetz gelingt, müssen die heutige Hubstandorte überdacht werden. Umsteigehubs müssen an die Peripherie der Städte oder in die Agglomeration verlegt werden. Für das Tösstal wäre z.B. ein Hub an der Stadtgrenze von Winterthur ideal, von dem aus viertelstündlich S-Bahnen direkt nach Zürich fahren. Solche Überlegungen sollten beim Weiterausbau der S-Bahn und FV-Netze berücksichtigt werden, so z.B. im S-Bahnkonzept 2G.

5.1.4 Fazit

Bereits bei einem suburbanen Hub in einer ländlichen Region ist mit grösseren, nur mit einigem Aufwand lösbaren Verkehrsproblemen zu rechnen. Für den Umstieg zwischen den Verkehrssystemen werden grosse Infrastrukturen benötigt. Dadurch wird der Komfort für die Nutzer durch lange Wartezeiten (insbesondere beim Umstieg vom bzw. auf das leistungsfähigere System), relativ lange Fusswegdistanzen und ein enormes Verkehrsaufkommen auf dem Umsteigehub beeinträchtigt. Letzteres könnte bei der Orientierung der Fahrgäste an den Hubs herausfordernd und somit attraktivitätsmindernd wirken. Die Schnittstelle zwischen den leistungsfähigen S-Bahn- und Fernverkehrszügen und den wenig leistungsfähigen Kleinbussen bzw. Taxis funktioniert nicht ohne weiteres. Dies gilt insbesondere für die Morgen- und Abendspitzen. Einige Handlungsansätze zur Problemlösung wurden in diesem Kapitel erläutert. Mit Sicherheit festhalten lässt sich hier, dass eine Verlegung der grossen Umsteigeknoten in die urbanen Zentren kaum realisierbar ist (s. Kapitel 5.1.2).

Luzern, 11. April 2018
Seite 49/88

5.2 Situation an den Umsteigehubs in Variante 4

Die in Variante 3 entstandenen Verkehrsprobleme lösen sich in Variante 4 teilweise auf. Dadurch, dass die heutigen Stationen der S26 als zusätzliche Umsteigepunkte dienen, fallen v.a. die Umsteigevorgänge am Hub Sennhof-Kyburg weg. Diese verlagern sich auf die S-Bahnstationen im Untersuchungsperimeter. So können die grossen Verkehrsprobleme durch ein konzentriertes Anfahren eines einzelnen Hubs verhindert werden (vgl. dazu Variante 3).

Tabelle 14: Anzahl Fahrgäste an den Hubs und Stationen in der Abendspitzenstunde (Variante 4)

	Sennhof-Kyburg	Illnau	Fehraltorf	Pfäffikon	Wetzikon	Steg	Eschlikon
Fahrgäste ASP	1	32	76	266	94	0	3
davon Weiterreisende S-Bahn	1	13	38	96	15	0	3
Anteil an Weiterreisenden	100%	41%	50%	36%	16%	0%	100%
Fahrzeuge ASP	1	12	29	103	35	0	1
davon für Weiterreisende S-Bahn	1	5	15	37	5	0	1
Fahrzeuge pro S-Bahn (1/2-Takt) ²⁸	1	3	8	19	3	0	1
Fahrzeuge pro S-Bahn (1/4-Takt) ²⁹	1	1	5	9	1	0	0

	Station Kollbrunn	Station Rikon	Station Rämismühle-Zell	Station Turbenthal	Station Wila	Station Saland	Station Bauma
Fahrgäste ASP	136	112	134	134	47	6	61
davon Weiterreisende S-Bahn	136	103	131	134	47	6	61
Anteil an Weiterreisenden	100%	92%	97%	100%	100%	100%	100%
Fahrzeuge ASP	52	18	22	29	6	3	8
davon für Weiterreisende S-Bahn	52	16	21	29	6	3	8
Fahrzeuge pro S-Bahn (1/2-Takt)	26	8	11	15	3	2	4
Fahrzeuge pro S-Bahn (1/4-Takt)	13	4	5	7	1	1	2

Quelle: eigene Berechnungen

²⁸ Annahme: Die Fahrgäste verteilen sich linear auf die S-Bahnen.

²⁹ Annahme: Die Fahrgäste verteilen sich linear auf die S-Bahnen. Hinweis: Die Verbesserung des Intervalls führt auch zu einer höheren Nachfrage.

Luzern, 11. April 2018
Seite 50/88

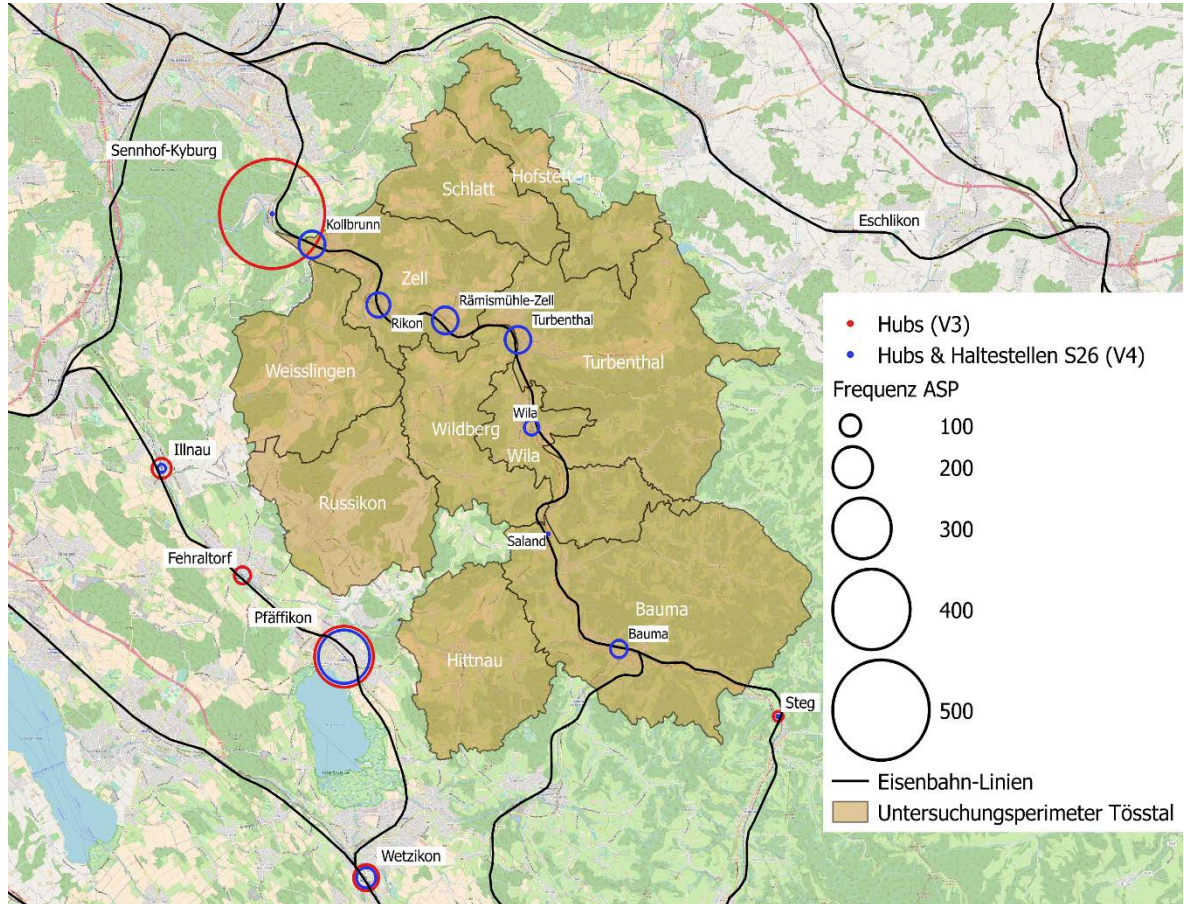


Abbildung 10 Bedeutung der Hubs in der Abendspitze (Vergleich der Varianten 3 und 4)

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf dem GVM Zürich, Hintergrund: Open Street Maps

Keine der S-Bahnstationen wird in einem vergleichbaren Ausmass wie der Hub Sennhof-Kyburg in Variante 3 angefahren. Die drei nördlichsten S-Bahn-Stationen im Perimeter werden am häufigsten für die Kombination mit der S-Bahn genutzt. Alle Fahrten, die in Variante 3 über Sennhof-Kyburg liefen, verteilen sich nun auf die sieben S-Bahn-Stationen. Bei den Hubs südwestlich des Untersuchungsperimeters sind lediglich kleine Veränderungen festzustellen.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 51/88

5.3 Weitere Auswirkungen

Weiterführende Aussagen zu Auswirkungen auf den Fernverkehr sind mit der gewählten Methodik nur schwierig zu tätigen³⁰. Nachfolgend werden weitere Fragen zu den Auswirkungen durch den Einsatz von selbstfahrenden Fahrzeugen formuliert. Sie lassen sich jedoch im Rahmen der vorliegenden Studie nicht beantworten.

- Wie wird mit potenziellen neuen Kundengruppen umgegangen wie Ältere, Kinder, Menschen mit eingeschränkter Mobilität etc.?
- Wie gross ist das Potenzial an (heutigen) Autofahrern für den Umstieg auf den ÖV vor dem Hintergrund, dass private SFF-Halter in Zukunft auch von den heutigen Vorteilen des öffentlichen Verkehrs profitieren (Sicherheit, Zeit für andere Tätigkeiten etc.)?
- Zusätzlich dazu stellt sich die Frage, ob sogar mit einem Rückgang von heutigen Fahrgästen im ÖV zu rechnen ist, die sich neu ein selbstfahrendes Fahrzeug privat anschaffen. Dies dürfe nicht zuletzt von der Regulierung des Verkehrs durch die Gemeinden abhängen.
- Wo werden die Fahrzeuge parkiert, nachdem sie ihre Aufgabe in der Spitzenstunde erledigt und vorläufig keine weiteren Bestellungen für Fahrten erhalten haben? Kommen dafür heutige Parkhäuser in Frage? Diese befinden sich vorderhand an verkehrstechnisch gut gelegenen Standorten.

³⁰ Wahl einer peripheren Untersuchungsregion bei stabilem ÖV-Angebot auf S-Bahn/FV und keine Fahrten mit SFF ausserhalb der Region.

6 Unternehmerische Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse

Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben, wird die Einführung autonomer Fahrzeuge in der öffentlichen Diskussion eher wenig kritisch behandelt. Trotz des grossen Potenzials für Schweizer Transportunternehmen in den Varianten 1 bis 3, birgt die Automatisierung auch Risiken in sich, die je nach Variante unterschiedlich hoch sind. Im Folgenden werden die vier Varianten auf unternehmerische Potenziale und Risiken hin bewertet, die sich aus den Variantenberechnungen und den Auswirkungen auf den S-Bahn- und Fernverkehr ergeben haben. Ebenfalls werden Treiber und Hemmnisse für die Angebotsgestaltung im Kontext von geteilten selbstfahrenden Fahrzeugen in ländlichen Regionen aufgezeigt.

6.1 Referenzvariante

Obwohl das heutige System gut funktioniert und über einen hohen Qualitätsstandard verfügt, besteht bei der Referenzvariante die Gefahr von Fehlinvestitionen in die Infrastruktur und das Rollmaterial, wenn die Potenziale selbstfahrender Autos nicht genützt werden. Zudem besteht in ländlichen Regionen die latente Gefahr eines Qualitätsabbaus, insbesondere bei den ÖV-Linien mit tiefem Kostendeckungsgrad. Die Tabelle 15 fasst die Potenziale, Risiken, Treiber³¹ und Hemmnisse für die Referenzvariante zusammen.

Tabelle 15: Potenziale, Risiken, Treiber und Hemmnisse Referenzvariante

Potenziale / Treiber	Risiken / Hemmnisse
<ul style="list-style-type: none"> – Jahrzehntelange Betriebserfahrung – Neue Fahrgäste vom MIV (private selbstfahrende Fahrzeuge machen P+R attraktiver) – Starke Position der KTU als Anbieter – Schieneninfrastrukturen sind enorm teuer in der Erstellung, was den Erhalt bestehender Infrastruktur attraktiv macht – Hohe Qualität bei Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit bei der Einfahrt Winterthur – Personalrechtliche Punkte (Gewerkschaft) – Sicherheit und Komfort, einfache und eingeübte Nutzbarkeit des ÖV – Bündelung und Kapazität des ÖV – ÖV stützt Effizienz des Verkehrssystems und Bemühungen um Verbesserung der Lebensqualität im Tösstal 	<ul style="list-style-type: none"> – Fehlinvestitionen (Infrastruktur, Rollmaterial) – Drohender Angebotsabbau bei Linien mit sehr tiefem Kostendeckungsgrad – Fahrgastverluste an MIV, wenn selbstfahrende Autos für den MIV eingesetzt werden – Sehr hoher Anteil der Personalkosten im ländlichen öffentlichen Verkehr

³¹ Bei der Referenzvariante sind die Treiber anders angelegt als bei den weiteren bewerteten Varianten. Hier geht es um die Aufrechterhaltung eines Zustands, danach um die Veränderungsrichtung.

6.2 Variante 1: Selbstfahrender Bahn- und Busbetrieb

Mit der Automatisierung des selbstfahrenden Bahn- und Busbetrieb werden Personalkosten eingespart. Einerseits weil der Zug- resp. Busführer wegfällt, andererseits weil das Angebot bei einer Automatisierung besser an der Nachfrage ausgerichtet werden kann statt heute, wo es mehr am Personalbedarf ausgerichtet ist. Dank den Einsparungen steigt der Kostendeckungsgrad und sinkt der von der öffentlichen Hand zu leistende Abgeltungsbetrag. Die Einsparungen könnten auch in den Ausbau der Feinverteilsbusse reinvestiert werden. Allerdings werden in Variante 1 die Chancen der Digitalisierung ungenügend genutzt. Mit Abwanderungen zum viel attraktiver werdenden, selbstfahrenden MIV muss gerechnet werden. Die Tabelle 16 fasst die Potenziale, Risiken, Treiber und Hemmnisse für die Variante 1 zusammen.

Tabelle 16: Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse Variante 1

Chancen / Treiber	Risiken / Hemmnisse
<ul style="list-style-type: none"> – Höherer Kostendeckungsgrad und damit tiefere Abgeltung durch die öffentliche Hand – Langfristige Sicherung des ÖV-Angebots – Verbessertes ÖV-Angebot in Bezug auf Takt und Betriebszeit (falls das eingesparte Geld in den ÖV reinvestiert wird) – Tieferes Unfallrisiko ohne Faktor Mensch – Starke Position der bestehenden Betriebe (neues gleich traditionelles Geschäftsmodell) – Erhalt bestehender Schieneninfrastruktur ist attraktiv (Abschreibung faktisch vollzogen) – Mögliche Kostensenkung für öffentliche Hand 	<ul style="list-style-type: none"> – Nur ansatzweise Nutzung des Potenzials der Digitalisierung – Abwanderung zum autonom fahrenden MIV – Tiefer Auslastungsgrad der grossen Fahrzeuge ausserhalb der Nachfragespitzen (auch bei E-Antrieb) – Wahrnehmung Komfort, Vertrauen der Fahrgäste in Sicherheit von nicht personalbegleiteten SFF

6.3 Variante 2: Selbstfahrender Busbetrieb ohne Bahnangebot

Bei der Variante 2 kann das Angebot im Tösstal gemäss den Berechnungen in Kapitel 4.3 kostendeckend betrieben werden, und für die öffentliche Hand würde die Abgeltung entfallen. Auch erübrigt sich mit dem neuen Angebotskonzept (vgl. Kapitel 4.3.1) auf zahlreichen Relationen das Umsteigen. Zudem könnten die im Tal verkehrenden Busse zwischen den heutigen Bahnhöfen anhalten und somit die Fahrgäste näher an ihrem Zielort abladen. Diese Haltepolitik müsste allerdings sorgfältig abgewogen werden, da jeder Zwischenhalt die Fahrzeit für die anderen Fahrgäste verlängert und nicht überall im öffentlichen Strassenraum Haltestellen eingerichtet werden können. Allerdings werden bei Variante 2 wie bei Variante 1 die Chancen der Digitalisierung ungenügend genutzt, wenn die selbstfahrenden Bahnen und Busse weiterhin im Fahrplanbetrieb von Haltestelle zu Haltestelle verkehren. Eine weitere Gefahr besteht, dass die Reisequalität in den selbstfahrenden Bussen nicht das Niveau der heutigen Züge erreicht. Insbesondere auf der Strecke zwischen Sennhokyburg und Winterthur könnten sich im dichten Stadtverkehr Probleme mit der Zuverlässigkeit der Busse ergeben, die sich negativ auf die Systemqualität des ÖV auswirken. Ein Nachfragerückgang wäre die Folge. Die Tabelle 17 fasst die Potenziale, Risiken, Treiber und Hemmnisse für die Variante 2 zusammen.

Tabelle 17: Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse Variante 2

Chancen / Treiber	Risiken / Hemmnisse
<ul style="list-style-type: none"> – Besteller (öffentliche Hand) spart Geld, weil der ÖV wirtschaftlicher, ggf. selbsttragend ist – Mobilität wird zum Geschäft, intramodaler Wettbewerb ist möglich – Langfristige Sicherung des ÖV-Angebots – Höherer Komfort: besserer Takt (Verfügbarkeit), zusätzliche Haltestellen, weniger Umsteigen – Tieferes Unfallrisiko ohne Faktor Mensch – Starke Position der bestehenden Betriebe (neues gleich traditionelles Geschäftsmodell) 	<ul style="list-style-type: none"> – Keine vollständige Ausnutzung des Potenzials der Digitalisierung – Tiefer Auslastungsgrad der grossen Fahrzeuge ausserhalb der Nachfragespitzen – Fahrkomfort Bus ist tiefer als mit Bahn: möglicher Nachfragerückgang – Staubbedingte Verzögerungen auf der Zufahrt von Sennhof-Kyburg zum Bahnhof Winterthur, Beeinträchtigung Systemqualität ÖV – Fehlende soziale Kontrolle durch Absenz von Chauffeur: möglicher Nachfragerückgang – Widerstand durch aktuellen Bus- und Bahnbetreiber (Festhalten am Status quo) – Wahrnehmung Komfort, Vertrauen der Fahrgäste in Sicherheit von nicht personalbegleiteten SFF – Bei intramodalem Wettbewerb Verschlechterung der Angebotsqualität möglich

6.4 Variante 3: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bahn und Bus

Die Variante 3 mit selbstfahrenden Robovans hat das Potenzial, die Grundversorgungsqualität in ländlichen Regionen substanziell zu verbessern, indem viele oder sogar alle Häuser gut erschlossen werden. Ausserdem lassen sich kürzere Fahrzeiten, weniger Umsteigevorgänge in der Peripherie und längere Betriebszeiten zu vertretbaren Kosten realisieren. Ein solcher Betrieb kann gemäss den Berechnungen in diesem Projekt den heutigen öffentlichen Verkehr aus betriebswirtschaftlicher Perspektive ersetzen. Inwiefern der Betrieb allerdings tatsächlich selbsttragend funktionieren kann, hängt insbesondere von drei Faktoren ab: von den Betriebskosten (und hier wiederum stark von den Kosten für Overhead und Reinigung), von den Fähigkeiten des Betreibers im Hinblick auf eine gute Auslastung die optimale Fahrzeuggrösse zu beschaffen und die Flotte gut zu disponieren. Auch eine vollautomatisierte Flotte selbststeuernder Fahrzeuge braucht immer Personen vor Ort, die für Unterhalt und Reinigung sorgen, die Fahrzeuge immatrikulieren, kontrollieren, Parkplätze und Ladestationen organisieren, den Betrieb bei Störfällen sicherstellen usw.

Eine weitere wichtige Herausforderung besteht bei den erwarteten Verkehrsproblemen an den wichtigsten Hubs (vgl. Kapitel 5.1). Durch eine Verlagerung der Umsteigevorgänge in die Vorstadt wird die Attraktivität selbstfahrender Fahrzeuge relativiert, die Orientierung der Fahrgäste und die Kommunikation mit den Fahrgästen werden herausfordernd. Eine weitere Problematik beim Betrieb autonomer Fahrzeugflotten liegt in der optimalen Abdeckung der Fahrtwünsche (minimale Wartezeit, direkte Fahrt und wenige Zu- und Aussteiger bei gleichzeitig möglichst hoher Auslastung und wenigen Transferfahrten). Diese Faktoren haben einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität und die Kosten des definierten Angebots. Der Aufbau der entsprechenden Kompetenz ist deutlich kom-

Luzern, 11. April 2018
 Seite 55/88

plexer als Finanzierung, Organisation und Betrieb der Fahrzeuge (Flottenmanagement), wo in absehbarer Zeit mit Serienprodukten gerechnet wird. Entsprechend ist damit zu rechnen, dass in einer allfälligen Konkurrenzsituation in der Zukunft die Disposition zur zentralen Ressource wird.

Die Disposition selbstfahrender Fahrzeuge stellt ein komplexes und dynamisches Optimierungsproblem dar. Im Gegensatz zu Uber, Lyft und diversen weiteren Tech-Unternehmen verfügt keine Schweizer KTU (auch nicht die SBB) über diese Kompetenz. Auch die grossen Automobilhersteller investieren aktuell Milliarden in diesem Bereich. Die (mögliche) Konkurrenz ist in der Entwicklung also weit voraus. Im Gegensatz zu einem Anbieter wie Uber gibt es in einem zentral disponierten System aber keine menschlichen Akteure im System, die selbst an einer Optimierung mitarbeiten. Die optimale Angebotsgestaltung verlangt demnach ein lernendes System, das beispielsweise aufgetretene Engpässe in der Vergangenheit dazu nutzt, in Zukunft ähnlich Engpässe vorherzusehen. Es braucht also eine automatisierte Verbesserung, z.B. basierend auf «machine learning». So können die Qualität hochgehalten und viele Leer- bzw. Halbleerfahrten vermieden werden. Die traditionellen KTU drohen damit zu Fuhrhaltern grosser und international operierender Dispositionsplattformen zu werden, die sich entweder am Markt oder bei einer allfälligen Ausschreibung durch die öffentliche Hand durchsetzen. Denkbar wäre auch, dass eine Softwarelösung für die Disposition von SFF auf dem Markt existiert und von KTU eingekauft werden könnte.

Bei der konkreten Umsetzung präsentieren sich noch diverse Hemmnisse, die die Einführung eines flächendeckenden Systems mit selbstfahrenden Kleinbussen verlangsamen oder sogar verhindern könnten. Dazu gehören etwa die schlechtere Betreuung und subjektive Sicherheit in kleinen Fahrzeugen, der hohe Aufwand für Ticketkontrollen, die Durchsetzung von Sanktionen, der weiterhin notwendige persönliche Kundenkontakt sowie die Ineffizienzen durch Leerfahrten. Die Tabelle 18 fasst die Potenziale, Risiken, Treiber und Hemmnisse für die Variante 3 zusammen.

Tabelle 18: Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse Variante 3

Chancen / Treiber	Risiken / Hemmnisse
<ul style="list-style-type: none"> – Besteller (öffentliche Hand) spart Geld, weil der ÖV selbsttragend ist – Mobilität wird zum Geschäft, intramodaler Wettbewerb kann entstehen – Langfristige Sicherung des ÖV-Angebots – Steigerung der Qualität in der Grundversorgung (Tür-zu-Tür Angebot) – Kürzere Fahrzeiten, weniger Umsteigen und dadurch Potenzial für mehr Nachfrage – Tieferes Unfallrisiko ohne Faktor Mensch – Flexibles Pricing könnte Geschäftsmodell auch in Nebenzeiten rentabel machen – Für SBB: Einkauf fehlendes Knowhow möglich (Startups arbeiten an Routing-Apps) – Für SBB: Hohe Personal-, bzw. Betriebskosten nicht zwingend nachteilig, da auch automatisierte Flotte personalintensiv ist (Unterhalt, Reinigung, Kontrolle etc.) – Neue Kundengruppen (Mobilitätseingeschränkte etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> – Grosse Verkehrsprobleme an Hubs und/oder zusätzliches Umsteigen in der Vorstadt, problematische Situation für Orientierung der Fahrgäste; – Flächenbedarf für Fahrten innerhalb der Dorfkernzentren, Hubs und Halteketten – Geringere verkehrliche Effizienz des Verkehrs (Bündelung von Verkehrsströmen) – Wahrnehmung des Fahrkomforts im Vergleich zur S-Bahn – Sicherheitsgefühl der Fahrgäste in unbegleiteten Kleinfahrzeugen – Fehlende Parkplätze in städtischen Räumen³² – Gefahr, dass regional verankerte KTUs zu Fuhrhaltern grosser und international operierender Dispositionsplattformen werden – Widerstand durch Bus- und Bahnbetreiber – Bei intramodalem Wettbewerb Verschlechterung der Angebotsqualität möglich

6.5 Variante 4: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bus und S26 fährt autonom

Das in Variante 4 untersuchte Angebot mit einer Kombination aus Robovans und einer autonom verkehrenden S26 scheint ein Konzept zu sein, um die bereits vorhandenen Infrastrukturen der Strassen und der S26 ideal zu nutzen. Die Erschliessung innerhalb des Tösstals verbessert sich wie in Variante 3 für die Bewohner eines ländlich geprägten Gebiets deutlich, was sich in einer gegenüber heute deutlich höheren Nachfrage spiegelt. Die in Variante 3 auftretenden, grossen Verkehrsprobleme können mit diesem Angebotskonzept ebenfalls weitgehend entschärft werden. Folgende Kernerkenntnisse ergaben sich mit der Entwicklung der Variante 4:

1. Das System erweist sich als sehr **kostenintensiv**, da die S26 auf einer im Vergleich zur Variante 3 längeren Strecke zwischen Winterthur und Steg verkehrt. Mit der Einplanung der Fusswege an Orten mit direktem S-Bahn-Anschluss konnten aber Fahrtenkilometer mit Robovans minimiert werden. Deshalb ist die Variante 4 als gesundes und gleichzeitig effizientes Erschliessungskonzept zu bezeichnen. Effizient ist das System zudem, weil Robovanfahrten minimiert werden konnten, indem der Weg nach Sennhof-Kyburg wie in Variante 3 nur bis zur nächstgelegenen S-Bahn-Station führt. Die durchschnittlichen Robovan-Kilometer reduzieren sich ebenfalls, was sich positiv auf die benötigte Energieaufwände auswirkt.

³² Gemäss der heutigen gesetzlichen Regelung dürfen private Parkplätze streng genommen in den meisten Städten für ein System wie demjenigen in Variante 3 nicht eingesetzt werden. Private Parkplätze sind nämlich baurechtlich an eine bestimmte Nutzung wie Wohnen oder Arbeiten reserviert. Es müssten demnach öffentliche Parkplätze oder solche in Parkhäusern zum Einsatz kommen.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 57/88

2. Die in Variante 3 aufgetauchten Verkehrsprobleme an den Hubs lösen sich in Variante 4 weitgehend selber. Durch die bessere Verteilung der Fahrgäste auf mehrere Hubs tauchen keine Staubildungen und Platzprobleme mehr auf. Generell entsteht deutlich weniger Robovan-Verkehr in der Untersuchungsregion.
3. Wären in Zukunft **regionale Konzessionen** sinnvoller als Linienkonzessionen? Variante 4 zeigt auf, dass in einem gemischten Angebotskonzept rentable die weniger rentablen Bereiche quersubventionieren können. In Variante 4 ist das Robovan-System sehr rentabel, der Betrieb der S26 hingegen defizitär. Eine regionale Konzession könnte also analog zum Betriebskonzept der SOB am Gotthard funktionieren, mit Quersubvention aus einem rentablen in ein unrentables Geschäftsmodell.
4. Die **S26 erschliesst** auch ohne Robovans zwischen 40 und 60% der Bewohnerinnen und Bewohner des Tösstals, denn rund die Hälfte der Menschen wohnen in Fussdistanz (750m) zu einer Haltestelle. Insbesondere für diese Personen ist die direkte Bahnfahrt schneller und komfortabler als eine Verbindung mit dem Robovan bis z.B. Sennhof-Kyburg und danach weiter per Bahn (kein Umsteigen, keine Reservationspflicht). Bei Fahrgästen mit einem Fussweg ist die Bahn zudem gesünder.
5. Mittel- und langfristig verfügt die Variante 4 über die **bessere Aufwärtskompatibilität** als die Variante 3. Durch das erwartete langfristige Mobilitätswachstum werden sich die Verkehrsprobleme an den Knoten voraussichtlich weiter akzentuieren, auf der Bahn hingegen kaum.
6. Die Variante 4 ist aufgrund der eingeplanten Fusswege **robuster gegenüber einem Umstieg** auf das private SFF als die Variante 3 (plausibles Risiko für ÖV, Fahrgäste zu verlieren, weil die privaten SFF deutlich attraktiver werden).
7. Variante 4 ist durch die stärkere Bündelung der Nachfrage deutlich ressourcenschonender und damit **ökologischer** als Variante 3 in Bezug auf Energie- und Bodenverbrauch.
8. Aus Sicht der **Raumplanung** ist die Variante 4 klar zu bevorzugen. Durch die Präsenz einer physischen Infrastruktur mit definierten Knoten bestehen grössere Anreize und bessere planerische Möglichkeiten für die gewünschte Verdichtung der Siedlungen nach innen. Bei einem flächendeckenden Angebot mit Robovans fallen diese Vorteile weg.

Fazit

Die Kombination von Robovans mit der S26 ergibt ein kostendeckendes Verkehrsangebot, das der Variante 3 in vielen Aspekten überlegen ist. Die Verkehrsprobleme werden weitgehend vermieden, Vorteile aus raumplanerischer und aus Nachfragesicht überwiegen die Nachteile (tieferer KDG) deutlich. Die bestehende Bahninfrastruktur hat als Zubringerin in die Agglomerationen im Schweizer Mittelland also auch in Zukunft eine wichtige Funktion – gerade auch angesichts des erwarteten Nachfragewachstums. Für viele Nutzerinnen und Nutzer ist die direkte Bahnfahrt bequemer, schneller und auch gesünder als eine Kombination von Robovan und Bahn. Beim Rückbau von Angeboten muss deshalb darauf geachtet werden, dass nicht wertvolle Vorteile des aktuellen Angebots verloren gehen, wie es aus heutiger Sicht in diversen Schweizer Städten beim Rückbau der Traminfrastruktur in den 1960er-Jahren geschehen ist. Die Geschäftsmodelle für die SBB sind für die Variante 3 und 4 weitgehend identisch.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 58/88

Tabelle 19: Chancen, Risiken, Treiber und Hemmnisse Variante 4

Chancen / Treiber	Risiken / Hemmnisse
<ul style="list-style-type: none"> - Besteller (öffentliche Hand) kann ein attraktives ÖV-Netz anbieten, das rentabel sein kann - Die Erschliessung des ländlichen Raums verbessert sich - Die autonom betriebene S-Bahn verursacht tiefere Kosten - Optimale Auslastung der Hubs und der Stationen der S-Bahn - Keine Verursachung eines Flaschenhalses für den Verkehr, da Frequenzen an Hubs und Stationen besser verteilt werden - Gesundheit und Wartezeiten der Fahrgäste werden besser berücksichtigt wegen Ersatz kurzer Robovanfahrten durch Fusswege - Gute Aufwärtskompatibilität des Angebotes bei weiterem Nachfragewachstum - Unterstützung der Verdichtung nach innen durch Erhalt der ÖV-Halte 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Auslastung der S26 könnte das Angebot insgesamt unattraktiv machen - Verkehrsprobleme können nur vermieden werden, wenn die Verteilung auf mehrere Stationen der S26 tatsächlich gelingt - Sicherheitsgefühl der Fahrgäste in unbegleiteten Kleinfahrzeugen - Widerstand durch heutige Busbetreiber

Luzern, 11. April 2018
 Seite 59/88

7 Rollen und Geschäftsmodelle für die SBB

Gemäss den Berechnungen in Kapitel 4 lassen sich sowohl ein System mit selbstfahrenden Bussen (Variante 2) als auch eines mit selbstfahrenden Minivans (Variante 3) und ein kombiniertes Angebot mit automatisierter S26 plus Robovans in der Region selbsttragend betreiben. Der Kostendeckungsgrad der untersuchten Systeme liegt bei rund 107%, 111% und 108%. Für einen vollautomatischen Betrieb im Tösstal sind unter den gewählten Annahmen also keine Abgeltungen mehr notwendig. Damit stellt sich die Frage, ob es noch wie heute eine staatliche Konzession braucht, oder ob ein freier Wettbewerb ein kundenorientiertes Angebot ebenso effizient bereitstellen könnte. Für die SBB stellt sich zusätzlich die grundsätzliche Frage, welche Rolle sie in Zukunft in ländlichen Regionen einnehmen will und welche Geschäftsmodelle dafür in Frage kommen.

Aufbauend auf den vorangehenden Kapiteln wird zunächst analysiert, welche Rollen für die SBB in den Varianten 1 und 2 sowie in der Referenzvariante in Frage kommen. Diese werden gemeinsam besprochen, weil sich das Angebot nahe am heutigen ÖV-Angebot im Tösstal bewegt. Varianten 3 und 4 hingegen bringen einen Systemwechsel mit sich, der weitreichende Konsequenzen auf die möglichen Geschäftsmodelle hat. Die staatliche Regulierung sowie die möglichen Rollen und Geschäftsmodelle der SBB werden deshalb für die Varianten 3 und 4 ausführlich analysiert (Kapitel 7.2 bis 7.3). Die Attraktivität der möglichen Geschäftsmodelle für die SBB wird anhand ihrer strategischen Relevanz und den jeweiligen komparativen Vorteilen (bzw. Nachteilen) der SBB bewertet (Kapitel 7.4). Schliesslich werden ein Blick auf weitere potenzielle Geschäftsfelder geworfen (Kapitel 7.5) und ein möglicher Übergangspfad zu automatischen Systemen (Kapitel 0) aufgezeigt.

7.1 Referenzvariante, Variante 1 und 2

Für die Referenzvariante und die Variante 1 kann auf eine weiterführende Analyse verzichtet werden, weil organisatorisch im Wesentlichen alles beim Alten bleibt. Mit grosser Wahrscheinlichkeit betreiben die heutigen Anbieter darin Bahn und Busse weiter wie bisher, in Variante 1 in automatisierter Form. Die Disposition wird in Variante 1 sogar noch dadurch vereinfacht, dass keine Personeneinsätze mehr geplant werden müssen (inklusive Stellvertretungen etc.).

Variante 2 lässt sich gemäss den obenstehenden Berechnungen kostendeckend betreiben; allerdings ist auch hier weiterhin ein fahrplangestütztes Angebot hinterlegt. Bezüglich Fahrzeugtechnologie kann davon ausgegangen werden, dass die Hersteller bereits alle Anforderungen an selbstfahrende Fahrzeuge abdecken. Insgesamt gleicht deshalb der Betrieb auch in dieser Variante stark dem traditionellen Modell. Ein Einstieg der SBB in dieses Geschäftsmodell würde im Wesentlichen bedeuten, zum regionalen Busbetreiber zu werden. Dies könnten die SBB auch heute bereits tun; ihre komparativen Vorteile gegenüber regionalen Anbietern sind allerdings in Frage zu stellen.

7.2 Mögliche Formen der Marktorganisation (Regulierung) in den Varianten 3 und 4

Wie in der Einleitung zum Kapitel 7 aufgezeigt, stellt sich bei einem kostendeckenden Betrieb die Frage, in welcher Form in Zukunft noch Konzessionen zu vergeben sind bzw. ob überhaupt noch eine staatliche Lenkung (Besteller bzw. Regulator) erforderlich ist. Bei näherer Betrachtung spricht auch in Varianten 3 und 4 einiges für eine staatliche Regulierung. Diverse Aspekte können sogar nur vom Staat beigesteuert werden, so unter anderem...

- eine faire Verteilung des Zugangs zu den Halteplätzen, insbesondere bei Bahnhöfen und Stationen sowie der notwendigen öffentlichen Park- bzw. Warteplätze³³
- die Sicherstellung eines flächendeckenden Angebots während täglich 20 oder 24 Stunden (Service Public bzw. Erschliessungspflicht)
- die Erhaltung der Stärken des heutigen ÖV-Systems (einfacher Zugang, durchgehendes Ticket, Flat Rate mit GA und Anerkennung Halbtax, hohe Zuverlässigkeit, Abstimmung des Fahrplans, Erschliessungspflicht etc.), z.B. durch Integration in den direkten Verkehr (DV)
- eine detaillierte Klärung der Verantwortlichkeiten der involvierten Unternehmen und Organisationen inkl. deren Zusammenarbeit für ein optimales Angebot und einen guten Fahrgastschutz
- die Kontinuität des Angebotes: in einem schwach oder nicht regulierten Markt wechseln die Anbieter öfters als in einem stark regulierten Markt, womit die Kontinuität des Angebotes gefährdet ist

Eine komplette Deregulierung scheint in der Schweiz vor dem Hintergrund dieser Argumente und der Erfahrungen in anderen Märkten weder wünschenswert noch realistisch. Für die weiteren Ausführungen wird deshalb davon ausgegangen, dass der Staat weiterhin mit einer geeigneten Form der Regulierung eingreift. Dies gilt in besonderem Masse für noch peripherere Regionen als das Tösstal. Das Beispiel des englischen Busmarktes (siehe dazu Textkasten unten) hat gezeigt, dass sich durch eine totale Deregulierung gravierende negative Effekte wie eine Verschlechterung des Angebots in peripheren Regionen einstellen.

Der deregulierte Busmarkt in Grossbritannien

Durch den Transport Act 1985 wurde der britische Busmarkt ausserhalb von London innerhalb kürzester Zeit vollständig dereguliert. Während vorher staatliche und kommunale Unternehmen den größten Teil des Verkehrs - ohne Wettbewerb und massiv subventioniert - durchführten, darf seit der Deregulierung jedes Unternehmen neue kommerzielle Verkehrsangebote mit einer Frist von 42 Tagen einführen oder wieder abschaffen. Diese können in direkter Konkurrenz zu anderen Buslinien oder Schienenverkehren betrieben werden. Direkte Subventionen an Busunternehmen sind verboten. Aufgrund gesetzlichen Vorrangs dürfen die lokalen Behörden nur dort selbst initiativ werden und Leistungen ausschreiben, wo kommerziell kein Verkehrsangebot zustande kommt. Mit der Deregulierung wurden zudem die staatlichen Mittel für den ÖV massiv reduziert.

Die Deregulierung hatte teilweise dramatische Auswirkungen auf das Verkehrsangebot. Die starke Kürzung der Finanzmittel führte dazu, dass das Verkehrsangebot im ländlichen Raum mit geringer Nachfrage stark eingeschränkt wurde. Es war kommerziell nicht lebensfähig.

Auf lukrativen Linien und in Städten hingegen brachen teilweise zunächst regelrechte „bus wars“ um Marktanteile aus. Verkehrsunternehmen konkurrierten auf allen wesentlichen Linien. Sehr viele kleine Fahrzeuge ersetzten die vorherigen grossen Busse und verstopften zum Teil die Strassen. Die Fahrleistung blieb trotz Kürzung der öffentlichen Mittel dank besserer Produktivität stabil, die Nachfrage hat sich aber vor allem im ländlichen Raum und in den grossstädtischen Ballungsräumen enttäuschend entwickelt.

³³ Private Parkplätze kommen dafür gemäss heutigem Baurecht nicht in Frage, weil sie einer bestimmten Nutzung (Wohnen, Arbeiten etc.) vorbehalten sind.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 61/88

Der Anbietermarkt hat sich seit Ende der 90er Jahre deutlich konsolidiert. An die Stelle des Kriegs um Marktanteile ist ein Wettbewerb um Fahrgäste getreten; die direkte Konkurrenz mit gleichartigen Angeboten machte zunehmend einer Differenzierung der Angebote Platz. Die Wettbewerbsintensität hat deutlich abgenommen, vor Ort dominiert in der Regel ein Unternehmen, selten zwei, daneben agieren noch einzelne Nischenanbieter. Viele kommerzielle Verkehrsanbieter pflegen heute einen starken Kundenfokus. Verpflichtungen für einen Service public bestehen aber weiterhin praktisch nicht. Insbesondere in grossen Städten und im ländlichen Raum werden Angebot und Qualität hingegen als unbefriedigend wahrgenommen. Der Gesetzgeber hat vor diesem Hintergrund in mehreren Stufen regulative Eingriffe geschaffen bzw. erlaubt. Seit 2017 ist unter bestimmten Voraussetzungen ein Wechsel von Regionen zum Modell des regulierten Wettbewerbs möglich.

Heute wird zur Sicherung der Systemleistungen und des Grundangebotes mit Konzessionen gearbeitet. Diese beinhalten eine Exklusivität, d.h. kein anderer Anbieter darf seine im gleichen Gebiet tätig sein. Märkte im ÖV können also durch ein **gesetzliches oder faktisches Monopol** geprägt sein. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass der Betreiber eines Verkehrsdienstes oder des öffentlichen Verkehrs einer Region oder bestimmter Verkehrsdienste im gesamten Staatsgebiet festgelegt wird. Dabei ist es nicht entscheidend, ob die so geschützten Betreiber ihre Leistungen kostendeckend anbieten können. In der Schweiz stellt diese Regulationsform die dominante Version dar; sie findet sich sowohl im Fernverkehr als auch im Regional- und im Stadtverkehr.

Deregulierte Märkte zeichnen sich hingegen dadurch aus, dass jede interessierte Transportunternehmung Verkehrsleistungen anbieten kann, auch in direkter Konkurrenz zu schon bestehenden Verkehrsdiensten anderer Transportunternehmen. Wettbewerb besteht unmittelbar im Fahrgastmarkt. Die Unternehmen bieten die Verkehrsleistungen auf kommerzieller Grundlage an. Entsprechende Beispiele finden sich bei den Fernbussen in Deutschland, Schweden, Großbritannien oder im lokalen ÖV in Grossbritannien ausserhalb von London. Auch in deregulierten Märkten können alle Unternehmen verpflichtet werden, bestimmte Standards einzuhalten (z.B. Betriebspflichten beim deutschen Fernbus, Zugänglichkeit für mobilitätsbeeinträchtigte Personen im britischen ÖV). In anderen Sektoren (Post, Paketdienste) wird der Zugang zum Markt zum Teil mit Universaldienstverpflichtungen verbunden.

Im **regulierten Wettbewerb** organisiert der Staat Wettbewerb um den Markt. Er legt fest, nach welchen Regeln und mit welchen Bedingungen das Unternehmen ausgewählt wird, das den öffentlichen Verkehr durchführen darf. Der Staat verleiht in der Regel ein temporäres Monopol. Dies kann den kommerziellen Betrieb des ÖV in einem Gebiet betreffen, wobei der Unternehmer zur Aufrechterhaltung des Betriebs in definierter Qualität und Mindestumfang verpflichtet ist. Der Staat kann auch die Leistungen bestellen und dafür Zuschüsse gewähren (wie im Schweizer RPV) oder bei besonders lukrativen Netzen Geld erhalten (bei einigen passenger rail franchises in GB). In anderen Sektoren werden zum Teil mehrere überlappende Konzessionen für die gleiche Leistung erteilt (siehe Oligopol bei Mobilfunkkonzessionen).

Teilweise besteht in Konkurrenz zu oder neben reguliertem Wettbewerb für nicht kostendeckende Angebot die Möglichkeit, kommerzielle Verkehrsangebote anzubieten (z.B. **partielle Deregulierung** in Schweden, siehe Textkasten zum Busmarkt in Schweden und zum Passenger Rail Franchising in Grossbritannien unten).

Passenger Rail Franchising in Grossbritannien

Eine besondere Form des regulierten Marktes wird im britischen Eisenbahnverkehr praktiziert. Dort werden alle Leistungen, die staatlich geplant wurden, in Netzen als „franchises“ ausgeschrieben. Je nach Ertragspotenzial zahlt das britische Verkehrsministerium einen Preis oder erhält für hochprofitable Netze garantierte Beträge zurück, sodass kein Rosinenpicken erfolgt. Interessierte Unternehmen können im Rahmen der vorhandenen Netzkapazität kommerziell zusätzliche Leistungen anbieten, die über die staatlich geplanten Netze hinausreichen („commercial franchises“).

Bezüglich der staatlichen Regulierung stellt sich nicht nur die Frage, inwiefern und auf welche Art und Weise ein Regulator steuert. Es stellt sich auch die Frage, welches Staatswesen diese Rolle ausfüllt. Heute werden Linienkonzessionen durch das Bundesamt für Verkehr vergeben; die Angebotsplanung und die Kontrolle der Qualität unterliegt im Fall des Untersuchungsgebiets beim ZVV. Es scheint angesichts der oben stehenden Überlegungen plausibel, dass der ZVV auch in Zukunft eine ähnliche Rolle spielen könnte wie heute.

Für das Untersuchungsgebiet Tösstal ergibt sich in der Variante 4 die Situation, dass für die Region insgesamt ein kostendeckendes Angebot möglich wäre. Dafür müsste das rentable Robovan-Angebot allerdings das nicht rentable Bahnangebot quersubventionieren. Regulieren liesse sich dies entweder durch eine Gesamtausschreibung des regionalen Verkehrsangebotes in einem Paket, oder in Anlehnung an die britischen Railway Franchises so, dass der Betreiber der Robovans einen Beitrag an den Staat leisten müsste, das dieser dann analog dem heutigen RPV der S-Bahn weitergibt.

Der regulierte Busmarkt in Schweden

Anders als in Grossbritannien blieb der schwedische Busmarkt seit den späten 1970er Jahren durchgehend reguliert. 1985 erhielten die regionalen Behörden die Kompetenzen für den ÖV und schlossen Verträge mit staatlichen, kommunalen und privaten Verkehrsunternehmen ab. Nach Anfang der 90er Jahre wurden innerhalb von gut 10 Jahren die meisten Leistungen mindestens einmal ausgeschrieben. Das Ergebnis davon war eine erhebliche Verbesserung der Produktivität und der Qualität des ÖV und ein relativ geordneter Übergang in einen Wettbewerbsmarkt mit fast ausschliesslich kommerziellen Anbietern. Eine gewisse Skepsis gegenüber der gewählten Regulierung blieb allerdings bestehen, da sich die Kosten stärker entwickelten als die Nachfrage. Letztere wurde als enttäuschend bewertet. Am Ende einer umfassenden Reformdiskussion in der Branche und mit der Politik, in der auch die Deregulierung nach dem britischen Modell erwogen worden war, trat 2012 ein neues ÖV-Recht in Kraft.

Im Wesentlichen blieb dabei das Prinzip der Bestellung unberührt. Allerdings dürfen die bestellten (und subventionierten) Leistungen durch kommerzielle Angebote jederzeit konkurrenziert werden. Letztere geniessen anders als in Großbritannien keinen Vorrang und können somit das integrierte und dem Service public-Gedanken folgende Verkehrsnetz nicht infrage stellen. Gleichwohl ist es möglich, dass bessere Angebote oder ergänzende Leistungen hinzukommen, quasi als Korrektiv für die nicht-kommerzielle Planung. Die kommerziellen Anbieter können sich in die Strukturen der Verkehrsverbunde integrieren (Tarif, Vertrieb, Information). Es zeichnet sich ab, dass kommerzielle Unternehmen teilweise mit den Bestellern darüber diskutieren, vorhandene Leistungen kommerziell zu ersetzen. Bis heute sind einige Einzelleistungen dazugekommen, während das integrierte ÖV-Angebot in hoher Qualität weiterbesteht.

7.3 Mögliche Geschäftsmodelle für die SBB

In jedem zentral gesteuerten Mobilitätssystem fallen ähnliche Aufgaben an wie im heutigen ÖV. Dazu gehören z.B. die Planung und Bereitstellung eines Angebotes, die Bereitstellung von Informationen für die Kunden oder die Abrechnung der Leistungen, die von Kunden in Anspruch genommen worden sind. Die unten stehende Tabelle zeigt eine Übersicht über diese Aufgaben. Grundsätzlich kommen vier Rollen in Frage, die die SBB einnehmen kann. Diese lauten wie folgt: Komplettanbieterin (Reiseanbieterin mit Volls-service), Plattform mit Produktgestaltungscharakter (analog zu Flixbus), reine Betreiberplattform (analog booking), und Fuhrhalterin (analog einem Busunternehmer, der für Postauto oder Flixbus fährt). Diese Rollen unterscheiden sich bezüglich den Aktivitäten deutlich voneinander. Die vier Geschäftsmodelle werden hier lediglich beschrieben und den notwendigen Aufgaben gegenübergestellt; eine Bewertung aus Sicht SBB folgt weiter unten.

Tabelle 20: Wertschöpfungsstufen und mögliche Geschäftsmodelle

	Komplettanbieterin	Kooperation	Plattform	Fuhrhalterin
Analogie	Kuoni, TUI	Flixbus	Booking	PA-Halter
Angebotsentwicklung	x	x	-	-
Information, Marketing	x	x	x	-
Reservation, Abrechnung	x	x	x	-
Kundenbeziehung	x	x	x	-
Disposition	x	x	-	-
Beschaffung	x	-	-	x
Betriebsführung	x	-	-	x
Unterhalt, Reinigung	x	-	-	x

Quelle: eigene Darstellung

7.3.1 SBB als Komplettanbieterin

Analogie: Kuoni, TUI

Die SBB fahren im Modell Komplettanbieterin alle Leistungen selber, was das Flottenmanagement, die Disposition und die Kundenpflege als Schlüsselaktivitäten voraussetzt. Das Unternehmen bündelt alle Mobilitätsleistungen und ist einziger Ansprechpartner für den Kunden. Zum Flottenmanagement gehören analog heute auch Reparatur, Unterhalt und Reinigung, wobei die Fahrzeugbeschaffung in enger Partnerschaft mit einem oder mehreren Herstellern erfolgt – eventuell auch in einem Leasing-Modell. Zentrale Assets der SBB sind in diesem Modell die eigenen Fahrzeuge sowie eine sehr leistungsfähige IT-Plattform, die alle notwendigen Elemente von der Information über die Reservation/Buchung und die automatische und dynamische Fahrzeugdisposition bis hin zur Fakturierung bietet. Analog zur heutigen Applikation der SBB wird davon ausgegangen, dass ein grosser Teil der Informatikleistungen eingekauft und durch die SBB betrieben werden. Geld verdienen die SBB in diesem Modell auf allen Wertschöpfungsstufen. Eine vollständige Integration in den Direkten Verkehr bleibt denkbar. Der Staat stellt wenige Haltestellen (insbesondere Hubs und Dorfzentren) sowie Warte- und Parkplätze zur Verfügung.

7.3.2 SBB als Kooperationspartnerin

Analogie: Flixbus

In diesem Modell übernehmen die SBB die Rolle einer Marketing- und Distributionsorganisation, die selber keine Leistungen mit SFF bereitstellt. Dieses Modell entspricht weitgehend der Organisation von Flixbus: Leistungen werden von Flixbus konzipiert und ausgeschrieben, und dann von Busunternehmen gefahren. Die SBB kontrollieren die Produktgestaltung und die Kundenkontakte selber; die Fahrleistungen schreiben sie hingegen aus³⁴. Wichtig sind in diesem Modell die Auswahl und das Controlling der Fuhrhalter, die das Flottenmanagement von der Fahrzeugbeschaffung über die Reinigung bis hin zu Reparatur und Unterhalt tadellos beherrschen müssen. Zentrales Asset der SBB ist eine leistungsfähige IT-Plattform, die von der Information über Buchung und Disposition bis zur Fakturierung vieles bietet. Auch das Zubuchen diverser Zusatzleistungen (Behindertentransport, Fahrzeug zur exklusiven Nutzen, Getränke und Snacks an Bord etc.) ist denkbar. Geld verdienen die SBB durch den Ticketverkauf, wobei ein Teil davon an die Busunternehmen geht. Eine vollständige Integration in den Direkten Verkehr ist weiterhin denkbar.

7.3.3 SBB als Plattform

Analogie: Booking

In diesem Modell spezialisieren sich die SBB jenseits ihrer übrigen Geschäftsfelder auf die schweizweite Distribution von Mobilitätsservices für regionale Verkehrsleistungen. Die Plattform bietet den interessierten Mobilitätsdienstleistern folgende Leistungen: Information, Reservation und Abrechnung. Der Kundenkontakt ist eine standardisierte Vertragsbeziehung. Die SBB kooperieren mit verschiedenen Mobilitätsdienstleistern (ähnlich wie Booking mit Hotels). Geld verdienen die SBB in diesem Modell mit Vertriebsprovisionen.

7.3.4 SBB als Fuhrhalterin

Analogie: Postauto-Halter, Flixbus-Fuhrhalter

In diesem Modell fahren die SBB alle Leistungen selber. Weitere Leistungen wie Information, Distribution, Disposition und Abrechnung überlassen sie Dritten, wie den grossen Anbietern Uber, Google, etc.. Zentrales Element der Unternehmensleistung ist das Flottenmanagement (Beschaffung, Reparatur, Unterhalt, Reinigung) inklusive die Qualitätssicherung. Geld verdienen die SBB durch vertraglich geregelte Fahrgasterlöse oder Abgeltungen durch die Marktverantwortlichen Unternehmen. Die SBB nehmen damit ungefähr die Rolle eines Taxiunternehmens oder eines Rufbusbetreibers ein. Sie stehen im Wettbewerb mit anderen Transportunternehmen.

7.4 Bewertung der Geschäftsmodelle

Im Gegensatz zur Bewertung der Attraktivität von Geschäftsfeldern besteht in der Literatur kein Standardmodell für die Bewertung von Geschäftsmodellen. Aus diesem Grund wurden eigene Dimensionen und Kriterien – angelehnt an die Bewertung von Geschäftsfeldern – gewählt. Die Bewertung der vier identifizierten Geschäftsmodelle wird in Bezug auf drei Aspekte vollzogen: Attraktivität für die SBB, komparative Vor- und Nachteile der SBB und Realisierbarkeit.

1. Attraktivität für die SBB: Wenn die SBB ein neues Geschäftsfeld in der Mobilität erschliessen will, dann muss es zur Strategie bzw. zum Kerngeschäft des SBB-Konzerns passen, und es sollte dabei ein profitables Wachstum herauschauen. Zu diesem Kriterium gehören auch die Chancen für Wachstum ausserhalb des Tösstals durch Skaleneffekte (z.B. durch mehrfachen Einsatz einer IT-Lösung) sowie die Wettbewerbssituation im angestrebten Markt. Ein neues

³⁴ Im Kanton Zürich wäre die genaue Aufgabenteilung mit dem Zürcher Verkehrsverbund noch genauer zu klären.

Geschäftsmodell sollte zudem einen Beitrag an ein besseres Unternehmensimage inkl. eine bessere Kundenbindung mit sich bringen.

2. Komparative Vor- und Nachteile der SBB: Neben der Attraktivität eines Geschäftsmodelles ist für die SBB zudem relevant, ob sie über «gute Karten im Markt» verfügen, also über komparative Vorteile gegenüber Konkurrenten in Form von Wissen, Ressourcen und Fähigkeiten. Mögliche Konkurrenten sind vielfältig und lassen sich in drei Hauptkategorien zusammenfassen: ÖV-Unternehmen wie Postauto, Automobilhersteller wie Volvo und Plattformbetreiber bzw. Datenspezialisten wie uber oder google.
3. Realisierbarkeit und Risiko: Die Bewertung eines Geschäftsmodells hängt zudem davon ab, ob es sich überhaupt in die Realität umsetzen lässt. Insbesondere hängt die Realisierbarkeit von der langfristigen Attraktivität eines Modells für die Gesellschaft und den Staat ab. Beispielsweise kann ein Modell für die SBB interessant sein, aber zu Widerstand in der Bevölkerung, der Politik, den Gewerkschaften oder anderen wichtigen Organisationen führen und sich als nur schwer umsetzbar erweisen. Zudem fließt hier auch die Bewertung von (finanziellen) Chancen und Risiken eines Modells für die SBB mit ein.

Tabelle 21: Dimensionen und Kriterien für die Bewertung der Geschäftsmodelle im Tösstal

Dimensionen	Kriterien	Gewichtung
Attraktivität für die SBB	Nähe zum Kerngeschäft	30%
	Profitables Wachstum	60%
	Unternehmensimage/ -präsenz	10%
Komparative Vorteile bzw. Nachteile (ggü. TU, Autobauern und google/uber)	Produktion (Beschaffung, Reinigung, Unterhalt, Fahrleistung)	-*
	IT / Disposition (Information, Distribution, Disposition)	-*
	Marke SBB (Reputation, Sicherheit, Kundenkontakt)	-*
	Infrastruktur (Standplätze (Bahnhöfe), Zugang FV/S-Bahn)	-*
	Finanzierung (Investitionskraft)	-*
Realisierbarkeit und Risiko	Unternehmenskultur	-*
	Attraktivität für Anspruchsgruppen, erwartete Opposition	60%
	(Finanzielle) Chancen und Risiken	40%

Quelle: eigene Darstellung

**die komparativen Vor- bzw. Nachteile werden pro Geschäftsmodell mit einer unterschiedlichen Gewichtung bewertet, da nicht in jedem Markt die gleichen Stärken und Schwächen relevant sind (beim Geschäftsmodell «Plattform» bestehen beispielsweise keine Aufgaben in der Disposition, weshalb dieser Aspekt entsprechend auch nicht mit bewertet wird).*

Luzern, 11. April 2018
Seite 66/88

Als räumliche und sachliche Abgrenzung wird die untersuchte Variante 3 im Tösstal angenommen (Bewertung für den Fall einer Umsetzung im Tösstal). Wo Potenzial für die Multiplikation auf die gesamte Schweiz besteht, wird dies unter «profitables Wachstum» berücksichtigt. Die Bewertung der Realisierbarkeit und der relativen Position der SBB am Markt erfolgt jeweils auf einer Dreierskala (klein, mittel, gross); bei der Bewertung der Attraktivität wird eine Viererskala gewählt. Die Realisierbarkeit wird in der unten stehenden Abbildung durch die Grösse des Punktes dargestellt; je grösser der Punkt ist, desto grösser werden die Chancen für die Realisierung eingeschätzt.

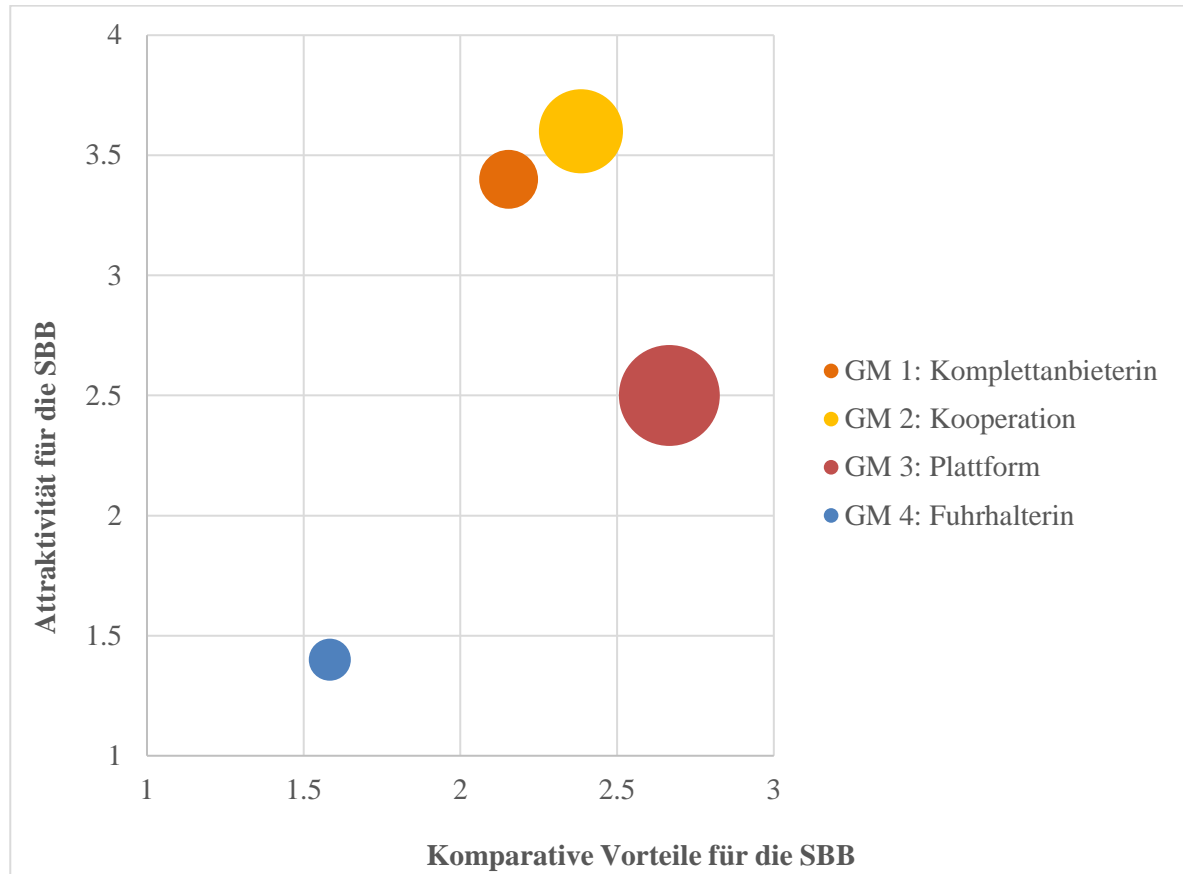


Abbildung 11: Bewertung der Geschäftsmodelle

Quelle: eigene Berechnungen & Darstellung

Lesebeispiel: Das Geschäftsmodell 1 *Kompletthanbieterin* stellt sich als ein sehr attraktives Modell für die SBB heraus, wobei die komparativen Vorteile der SBB schwächer sind als in den Geschäftsmodellen 2 und 3. Die Realisierbarkeit des Geschäftsmodells 1 wird als mittelhoch eingeschätzt; das Geschäftsmodell 3 ist für die SBB am ehesten zu realisieren.

Die Bewertung der Geschäftsmodelle ergibt insgesamt ein klares Bild. Das Modell «Kooperation» scheint deutlich die beste Variante zu sein, gefolgt von den Modellen Kompletthanbieterin und Plattform. Das Modell Fuhrhalterin hingegen ist für die SBB nicht attraktiv.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 67/88

Attraktivität der Geschäftsmodelle

Die **Kooperation** erhält bezüglich Attraktivität für die SBB und bezüglich der Marktposition eine sehr hohe Bewertung. Die Attraktivität des Geschäftsmodells ist als sehr hoch einzustufen, weil die SBB genau jene Prozesse anbieten, die nahe am derzeitigen Kerngeschäft liegen und ein profitables Wachstum versprechen: Information, Disposition, Angebotsgestaltung. Anders als im Geschäftsmodell *Komplettanbieterin* fahren die SBB die Leistungen nicht selber, was einen Fokus auf wertschöpfungsstärkere Schritte und damit auch eine höhere Skalierbarkeit ermöglicht.

Durch diese Konzentration auf Asset-leichte Tätigkeiten bestehen eher tiefe Risiken und damit gute Chancen für die Realisierung. Allerdings sind die Beziehungen zu Partnern und Fahrgästen durchaus konfliktanfällig, und die Abhängigkeiten von der (noch unbekannt) Regulierung sehr hoch. Aus dem gleichen Grund (Verzicht auf eigene Fahrtätigkeiten) wird die Marktposition der SBB in dieser Variante besser bewertet als in der Variante *Komplettanbieterin*: beim Betrieb und insbesondere bei Reinigung und Unterhalt kleiner Fahrzeuge schneiden die SBB aufgrund der Konzerngrösse und den damit verbundenen Systemkosten schlechter ab als konkurrenzierende, regionale Transportunternehmen mit geringerer Grösse.

Diese Beobachtungen stimmen sowohl bezogen auf ein reines Robovan-Angebot als auch für ein Angebot in Kombination mit einer automatisierten S-Bahn-Linie. Die komparativen Vorteile der SBB wären in einem kombinierten Angebot sogar noch höher zu gewichten als in der oben stehenden Bewertung. Die SBB könnten dann alle Angebotskomponenten in der Region aus einer Hand bieten und wären somit eine ideale Partnerin für das Modell einer regionalen Konzession.

Im Vergleich zur Kooperation schneidet die **Plattform** bezüglich der Attraktivität deutlich schlechter ab. Dies liegt daran, dass die SBB in diesem Modell lediglich eine Plattform anbieten, auf der andere Anbieter ihre Dienstleistungen verkaufen können. Durch die daraus resultierende, geringere Wertschöpfungstiefe ermöglicht dieses Modell den SBB weniger profitables Wachstum im Markt. Durch die hohe Bedeutung und die hohe Gewichtung des profitablen Wachstum fällt dies besonders stark ins Gewicht. Zwar ist eine webbasierte Plattform deutlich besser skalierbar, wie alle grossen Hotelbuchungsplattformen zeigen. Allerdings ist im Gegensatz zu Hotelreservierungen der mögliche Markt für die Angebote der SBB limitiert – vermutlich sogar auf die Schweiz; deshalb wird die Attraktivität der passiven schlechter bewertet als diejenige der Kooperation.

Am besten schneidet die Plattform auch bezüglich Realisierbarkeit ab. Der Verzicht auf die Gestaltung des Angebots bedeutet auch eine Minimierung des möglichen Widerstandes durch regionale Anbieter bei der Durchführung und damit hohe Realisierungschancen. Zweifelhaft ist im Modell Plattform allenfalls die Frage, ob die SBB eine Verkaufsmarge bei den möglichen Anbietern tatsächlich auf Dauer durchsetzen könnten, zumal sie diese in deren ehemaligen Stammgebiet nun mindestens teilweise konkurrenziert. Gegenüber internationalen Anbietern wie google oder uber schneiden die SBB zwar bezüglich Information und Disposition schlechter ab; die SBB verfügen jedoch über einen ausserordentlich guten Zugang zu den Kunden im Schweizer Mobilitätsmarkt, was eine entscheidende Stärke darstellt.

Im Vergleich zu den Modellen «Kooperation» und «Plattform» verfügen die SBB als **Komplettanbieterin** über eine leicht schlechtere Position am Markt. Wie bereits kommentiert, ist dies auf die Grössennachteile der SBB bei der Erstellung der Fahrleistungen (insbesondere Reinigung und Unterhalt) zurückzuführen. Die Realisierbarkeit dieses Geschäftsmodells ist zudem durch den potenziell sehr starken Widerstand durch viele Akteure gefährdet, die ein solches Modell aufgrund von Eigeninteressen bekämpfen würden. Dazu gehören neben den heutigen TU eventuell auch

Luzern, 11. April 2018
Seite 68/88

Bestellerorganisationen und besorgte Privatpersonen, die keine übermächtige Transportunternehmung auf Schiene und Strasse wollen. Die Attraktivität hingegen wird als hoch eingestuft. Insbesondere in der Kategorie «Nähe zum Kerngeschäft» schneidet dieses Modell von allen am besten ab. Durch die asset-lastige Struktur des Geschäftsmodells (eigene Fahrzeuge, eigenes Personal, eigene (Infra-)struktur für Reinigung und Unterhalt) wird aber das profitable Wachstum erschwert – trotz hoher Wertschöpfungstiefe. Weil das Kriterium «profitables Wachstum» besonders hoch gewichtet wird, ergibt sich aus dieser Überlegung schliesslich nur die zweithöchste Bewertung bezüglich der Attraktivität.

Das Modell **Fuhrhalterin** hingegen ist aufgrund des harten Wettbewerbs und der kleinen Margen für die SBB nicht attraktiv. Gleichzeitig ist die SBB eher schwächer einzuschätzen als die Konkurrenz, denn kleine und erfahrene Unternehmen mit schlanken Strukturen können vermutlich die Leistungen im Betrieb (Reinigung, Unterhalt etc.) günstiger erbringen als die SBB. Trotz wenigen eigenen bereits von den SBB betriebenen Linien ist das Modell *Bus-Fuhrhalter* weit weg vom Kerngeschäft der SBB, und es passt schlecht zum Selbstverständnis bzw. zur Unternehmenskultur. Weil zudem die Abhängigkeit von anderen Organisationen sehr hoch ist (analog zu einem TU im ÖV oder einer Unternehmung, die für Flixbus fährt), ist auch das Risiko als hoch einzustufen. Insgesamt ist deshalb dieses Modell uninteressant für die SBB.

Insgesamt lässt sich aus den oben stehenden Überlegungen der Schluss ziehen, dass das Vermitteln von Fahrten für die SBB als deutlich attraktiver als das Erstellen von Fahrten erweist. Die asset-lastigen, dezentralen und analogen Leistungen beim Fahren sind für die SBB kein Vorteil, was abschliessend eher für das Modell «Kooperation» spricht als für die «Komplettanbieterin». Zwar besteht in diesem Geschäftsmodell eine Konkurrenz zu global tätigen Konzernen wie Google, Uber oder Mercedes-Benz – insbesondere bei Information und Disposition; im Direktvergleich besitzen die SBB aber deutliche Vorteile bezüglich der Kundenbeziehung und der Angebotsgestaltung.

7.5 Weitere mögliche Geschäftsmodelle

Zusätzlich zu den oben porträtierten und bewerteten Geschäftsmodellen werden hier weiterführende Überlegungen angestellt, und zwar bezüglich dem Modell «Busse im Linienbetrieb», der SBB als 5-Klassen-Anbieterin, und der SBB als Anbieterin weiterer Dienstleistungen. Sie werden nur pauschal bezüglich Attraktivität, Marktposition und Realisierbarkeit bewertet.

7.5.1 Die SBB als Anbieterin von Bussen im Linienbetrieb

In den vorangehenden Kapiteln wurde in der Variante 2 ein Angebot mit regionalen, selbstfahrenden und fahrplangestützten Bussen entworfen und bewertet. Diese Variante könnte durch die SBB betrieben werden; die hohe Einkaufsmacht der SBB (insbesondere relevant bei einer überregionalen Skalierung) spricht dafür. Allerdings dürfte es für die SBB aufgrund der hohen Aufwände dezentral / vor Ort (Reinigung, Unterhalt, Garagierung etc.) nur wenig interessant und ausserdem kaum günstiger als durch ein konkurrierendes regionales Busunternehmen herzustellen sein.

7.5.2 Die SBB als Anbieterin von ÖV, Taxi und Tixi

Die regional benötigte Flotte von Robovans kann neben dem untersuchten, ÖV-ähnlichen Angebot auch weitere Bedürfnisse abdecken. Beispielsweise kann ein Minivan auch als Taxi funktionieren, wenn er alleine benutzt wird. Auch ein 1. Klasse-Angebot für die ÖV-Gäste liesse sich erstellen, indem z.B. Fahrgäste immer ohne neu zusteigende Fahrgäste an ihr Ziel gebracht werden. Taxi und 1.-Klasse-ÖV gleichen sich also stark an. Aufgrund der hohen benötigten Zahl an Fahrzeugen müsste ein solches Angebot eventuell auf ausserhalb der Stosszeiten limitiert werden. Schliesslich könnten Robovans auch als Tixi Taxi eingesetzt werden – entweder unbegleitet oder eventuell neu

Luzern, 11. April 2018
 Seite 69/88

begleitet durch eine Person ohne Führerscheinzwang. Die regionale Flotte an Robovans ist also multifunktional einsetzbar (auch bei einer heterogenen Fahrzeugflotte). In der Praxis umsetzbar scheint dies allerdings nur, wenn das Angebot durch einen einzigen Betreiber erstellt wird. Die SBB haben für die Bereitstellung eines solchen Angebotes also gute Voraussetzungen, weil sie eine ideale Kombination von leistungsstarker Distribution und regionalen Kenntnissen mitbringen.

7.5.3 Weitere Dienstleistungen

Die Fahrt mit einem selbstfahrenden Fahrzeug bedeutet auch, dass die Reisequalität im Vergleich zu einer heutigen Autofahrt deutlich steigt. Insbesondere können sich die Fahrgäste anderen Tätigkeiten wie schlafen oder arbeiten zuwenden. Eine Studie des Fraunhofer Institutes zeigt auf, dass während dieser Fahrten grundsätzlich eine Bereitschaft besteht, neue Dienstleistungen kostenpflichtig zu beziehen. Unter verschiedenen Arten der Dienstleistungen kristallisierten sich drei Themen heraus, die am meisten nachgefragt werden würden:

- Kommunikation: Soziale Netzwerke, Beratungsgespräche sowie private Kommunikation
- Produktivität: Arbeiten, Weiterbildung (z.B. Sprachkurse), Organisation (z.B. E-Banking oder Steuererklärung) sowie Einkäufe für den täglichen Bedarf
- Grundbedürfnisse: Reinigung (z.B. Schuhe putzen), Essen bzw. Trinken, Schlafen sowie Kleidung an/aus/umziehen

In der Studie zeigt sich, dass die frei gewordene Zeit in erster Linie für Arbeitszwecke eingesetzt werden würde, damit die Nutzenden mehr Freizeit gewinnen könnten. Besonders für kurze Fahrten müssten Dienstleistungen angeboten werden, welche nicht in Konkurrenz mit bestehenden, kostenpflichtigen Angeboten stehen, die z.B. über das persönliche Smartphone bezogen werden können (Dungs et al. 2016). Für die SBB ergibt sich daraus ein Potenzial, den Kunden neue Dienstleistungen im Fahrzeug anzubieten. Diese Möglichkeiten sind jedoch auf die Geschäftsmodelle «Komplettanbieterin» und «Kooperation» beschränkt, weil nur hier die SBB einen direkten Einfluss auf die Angebote haben; je nach Ausgestaltung der Rollen eventuell auch als «Fuhrhalterin».

Ein weiteres Dienstleistungsfeld könnte sich durch eine zusätzliche Nutzung der Fahrzeuge in Neben- und Randverkehrszeiten ergeben. Ein Beispiel hierfür ist das Konzept «Rinspeed Snap», bei welchem einem fahrbaren Untersatz unterschiedliche Kabinen aufgesetzt werden können. Zur Hauptverkehrszeit kann damit beispielsweise eine Passagierkabine, in der Nebenverkehrszeit eine Kabine für neue Dienstleistungen wie Paketdienste oder mobile Verkaufsläden aufgesetzt werden. Die SBB könnte dadurch ihre Fahrzeuge besser auslasten.

Luzern, 11. April 2018
Seite 70/88



Abbildung 12 Konzept «Rinspeed Snap»

Quelle: https://www.rinspeed.eu/de/Snap_48_concept-car.html

Luzern, 11. April 2018
 Seite 71/88

8 Fazit und Handlungsempfehlungen

Im Forschungsprojekt «Selbstfahrende Fahrzeuge für den öffentlichen Verkehr in ländlichen Räumen» wurde untersucht, ob sich im ländlichen Raum der öffentliche Verkehr durch ein System selbstfahrender Fahrzeuge ersetzen lässt – und ob ein solches System kostendeckend funktionieren kann. Ausserdem interessierten die Auswirkungen auf den Fernverkehr sowie neue Geschäftsmodelle, die durch die Automatisierung entstehen.

Die Resultate der Analysen zeigen, dass die Umstellung auf ein System selbstfahrender Fahrzeuge in ländlichen Räumen interessant scheint, und dass ein solches Angebot unter den getroffenen Annahmen sowohl kostendeckend (d.h. selbsttragend) als auch mit einer hohen Qualität angeboten werden kann. Bei einem Totalersatz des bestehenden ÖV-Angebots durch Robovans werden die Auswirkungen auf den Fernverkehr und die S-Bahn an der Schnittstelle der Systeme spürbar. Werden hingegen die S-Bahn weiterbetrieben und nur die Buslinien ersetzt, können die Verkehrsprobleme an den Umsteigehubs weitgehend gelöst werden; gleichzeitig wird auch die Verdichtung der Siedlungen nach innen unterstützt.

Die Stationen der S26 im Perimeter sind für rund die Hälfte aller Fahrgäste zu Fuss erreichbar. Entsprechend ist für sie die direkte Bahnfahrt bequemer, schneller und auch gesünder als eine Kombination von Robovan und Bahn. Deshalb schneidet die Variante 4 im Schlussvergleich am besten ab. Das bestehende Bahnangebot hat als Zubringerin in die Agglomerationen im Schweizer Mittelland auch in Zukunft eine Berechtigung – insbesondere auch angesichts des erwarteten Nachfragewachstums. Beim Rückbau von Angeboten im ländlichen Raum muss deshalb darauf geachtet werden, dass nicht wertvolle Vorteile des aktuellen Angebots verloren gehen, wie es in mehreren Schweizer Städten beim Rückbau der Traminfrastruktur in den 1960er-Jahren geschehen ist.

Wichtig für die Interpretation der Berechnungen in diesem Bericht ist der Hinweis, dass die getroffenen Annahmen für die Resultate der Berechnungen von hoher Bedeutung sind. Besonders sensibel reagieren die Resultate auf Veränderungen beim Besetzungsgrad der Fahrzeuge. Im Forschungsprojekt wurde davon ausgegangen, dass alle Fahrzeuge in der zu Grunde gelegten Flotte «als Teil des öffentlichen Verkehrs» geteilt werden (können). Diese Annahme bezieht sich auf die heutige Nachfrage im ÖV, also auf Fahrgäste, die ihr Fahrzeug per definitionem schon heute teilen. Im Vergleich mit dem Individualverkehr hingegen ist die Annahme durchaus gewagt, wie ein Blick auf die heutige Praxis belegt – Carpooling ist bisher nur ein kleines Nischenphänomen.

Die hohe Bedeutung der Annahmen für die Resultate bedeutet auch, dass viele Komponenten in einem System mit selbstfahrenden Fahrzeugen nicht vorgegeben sind, sondern vielmehr gestaltet werden können und müssen. Die Frage nach der sozialen Sicherheit beim Zustieg neuer Fahrgäste in ein SFF hat z.B. Smart vor kurzem so beantwortet, dass bereits anwesende Fahrgäste den Zustieg neuer Fahrgäste per Knopfdruck verweigern können. Auch die sinnvolle Ausgestaltung einer Flotte mit kleineren und grösseren, mit eigenen und zugemieteten Fahrzeugen müsste empirisch bzw. unternehmerisch erprobt werden.

Von besonderer Bedeutung für die Rentabilität einer zentral betriebenen Flotte ist die Frage, wie gut es einem Anbieter gelingt, die vorhandenen Fahrzeuge auf eingehende Fahrwünsche zu disponieren. Davon hängt einerseits die Angebotsqualität und damit die Fahrgastzufriedenheit ab. Andererseits beeinflusst die Disposition ganz direkt auch die Auslastung der Flotte und damit die Kosten des gesamten Angebots inkl. Kostendeckungsgrad. Eine zuverlässige und qualitativ hochstehende Disposition stellt deshalb in jeder zentral gesteuerten Flotte ein erfolgskritisches Element dar.

Luzern, 11. April 2018
 Seite 72/88

Die bisherige Diskussion über selbstfahrende Fahrzeuge ist gekennzeichnet von einer teilweise euphorischen Technikgläubigkeit, die wichtige Fragen ausklammert. Insbesondere sollten sich die Diskussionen in Zukunft nicht darauf beschränken, was (technisch) machbar ist – vielmehr braucht es auch eine Diskussion darüber, was wünschbar ist. Die heutige Schweizer Verkehrspolitik gibt im Interesse der urbanen Lebensqualität grundsätzlich den platzsparenden Verkehrsarten Velo, Fuss- und öffentlicher Verkehr den Vortritt – mindestens in den Kernstädten. Heute ist die Politik bei Verkehr und Siedlung auf effiziente, gebündelte Verkehrsströme ausgerichtet. Weitere Zersiedelung soll vermieden werden. Inwieweit sich dies mit sicheren und sauberen (selbstfahrenden) Fahrzeugen ändern würde, bleibt vorerst noch eine offene Frage.

8.1 Lessons Learnt: Resultate und Herausforderungen in ländlichen Gebieten

1. **Kostenreduktion:** Die automatisierungsbedingte Kostenreduktion wirkt sich beim Bus (-50%) viel stärker aus als bei der Bahn (-15%). Dadurch gerät die Bahn überall da unter Druck, wo sie keine grossen Mengen von Personen transportieren muss. Bedeutend stärker unter Druck durch Robovans geraten Busangebote mit tiefem Kostendeckungsgrad.
2. **Kostendeckungsgrad:** Mit der Automatisierung verbundene Effekte führen zu einem höheren Kostendeckungsgrad. Die Varianten 2-4 funktionieren allesamt kostendeckend, was für den öffentlichen Verkehr im ländlichen Raum komplett neue Modelle ermöglicht. Zentral organisierte Systeme mit selbstfahrenden Minivans oder Taxis können also kostendeckend betrieben werden; auch in Kombination mit der Erhaltung einer S-Bahnlinie. Damit stellt sich auch die Frage nach der geeigneten Ausgestaltung der Regulierung dieses Segments des ÖV-Marktes (zwecks Sicherstellung eines gewissen Servicelevels resp. einer allfälligen Preisobergrenze).
3. **Regulierungskontext:** Diverse Aspekte wie die Nutzung von öffentlichem Grund, der Systemgedanke im Schweizer ÖV (Ticket- und Tarifintegration) und die Erfahrungen im Taxiwesen sprechen dafür, dass der Staat auch in Zukunft Einfluss auf die Angebotsgestaltung im ländlichen Raum nehmen wird. Neu entsteht als Kombination von selbsttragenden (Robovans) mit nicht selbsttragenden (S-Bahn) Angebotselementen für den Regulator auch die Möglichkeit, regionale Konzessionen anzudenken. Die möglichen Geschäftsmodelle im ländlichen (öffentlichen) Verkehr der Zukunft hängen demnach entscheidend von der Marktgestaltung und den zukünftigen Aktivitäten des Regulators (d.h. Bund und evtl. Kanton) ab. Die SBB tun deshalb gut daran, sich intensiv mit möglichen Formen der Regulierung auseinander zu setzen.
4. **Flottengrösse:** Im Tösstal müsste die Fahrzeugflotte unter den gewählten Annahmen in Variante 3 über 170 Fahrzeuge umfassen, was einem Investitionsvolumen von rund 17 Millionen entspricht. Für die Spitzenstunden muss die Fahrzeugflotte rund 75% grösser dimensioniert sein als in einer durchschnittlichen Stunde (dann ca. 100 Fahrzeuge). Die notwendige Flottengrösse hängt direkt mit dem Takt des angrenzenden ÖV-Angebotes zusammen. Je dichter der Takt dort ist, desto kleiner kann die Flotte in einer ländlichen Region dimensioniert werden. Idealerweise werden die Fahrzeuge, die tagsüber nicht benötigt werden anderweitig eingesetzt, z.B. in einem Unternehmen oder für die Zustellung der Pakete des stark wachsenden Versandhandels. Die Flottengrösse reduziert sich durch die Mitberücksichtigung der bestehenden S26 (Stand 2015) sowie der Fusswege zu den S-Bahn-Stationen in Variante 4.
5. **Mischformen:** In Gebieten mit schwacher, räumlich-zeitlich disperser Nachfrage lässt sich die Nachfrage nur schwer bündeln. Es ist denkbar, dass sich Mischformen entwickeln, bei denen der Fahrgast zwei bis drei Minuten bis zum nächsten Haltepunkt des selbstfahrenden Sammeltaxis gehen muss. Ebenfalls denkbar sind Angebotskonzepte, die sich an einen Bedarfsbetrieb (nur Halt auf Verlangen, aber mit fixen Haltestellen) oder Richtungsbandbetrieb anlehnen (haltestellengebundenes Angebot innerhalb eines Korridors). Eventuell werden sich Angebote mit

unterschiedlichen Servicelevels und dementsprechenden Preisen etablieren. Ebenfalls denkbar ist eine Erhaltung der S-Bahn und der Ersatz aller Buslinien durch SFF.

6. **Flottenstruktur:** Neben vollautomatischen Kleinfahrzeugen (Vans oder Taxis) sind auch grössere Gefässe wie z.B. Midibusse für z.B. 30 Fahrgäste denkbar. Im Vergleich zu Kleinfahrzeugen weisen diese bezüglich sozialer Kontrolle, Platzbedarf und Kombination mit dem übrigen Schweizer ÖV sogar deutliche Vorteile auf. Auch kleinere Fahrzeuge wie Robotaxis mit 2 oder 4 Sitzplätzen könnten aufgrund der tiefen Investitions- und Betriebskosten ein interessantes Element einer gemischten Flotte darstellen. Eine Kombination verschiedener Fahrzeuggrössen scheint angesichts der Nachfragestruktur insbesondere an den Hubs ideal, müsste aber bzgl. der Effizienzverluste bei Planung und Unterhalt genauer untersucht werden.
7. **Attraktivität MIV:** Autonom fahrende Privatautos gewinnen enorm an Attraktivität, weil die Insassen während der Fahrt ihre Zeit sinnvoll nutzen können, weil auch Personen ohne Führerausweis unabhängig mobil werden, und weil das Auto weiterhin die gleiche Privatsphäre bieten kann wie traditionelle Autos. Damit wird das Autofahren insgesamt attraktiver, was wiederum zu unerwünschten Effekten führt: 1. sinkt damit tendenziell der Anteil des öffentlichen Verkehrs; 2. wird damit der Zersiedlung Vorschub geleistet (weil weite Pendelstrecken sicher und komfortabel werden) und 3. entsteht daraus tendenziell mehr Verkehr auch in der Stadt. Gleichzeitig wird aber auch der ÖV individueller bzw. flexibler und damit tendenziell attraktiver, was gegen die Befürchtung unter 1. spricht. Insgesamt bleiben die Stärken (Individualität, Flexibilität, Komfort, Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit) und die Schwächen des MIV (Ressourcenverbrauch, externe Kosten) bestehen.
8. **Monomodalität:** Es besteht ein Risiko, dass sich die Fahrgäste angesichts der guten Verfügbarkeit selbstfahrender Fahrzeuge weniger multimodal verhalten als heute und direkt in selbstfahrenden Autos an den Zielort reisen. Ob dies passiert, hängt von der Kapazität der Strassen und allfälligen regulierenden Massnahmen am Zielort ab (z.B. Road Pricing).
9. **Robotaxis, Robovans und ÖV:** Weil Robovans und Robotaxis sowohl alleine als auch geteilt sehr kostengünstig fahren, werden reine Taxiangebote zu tiefen Preisen möglich. Es erscheint plausibel, dass neben einem (regulierten) ÖV-Angebot mit geteilten Fahrzeugen auch ein (kommerzielles) Taxiangebot mit denselben Fahrzeugen in der Region betrieben wird. Damit verschwinden nicht nur die Grenzen zwischen ÖV und MIV, sondern auch diejenigen zwischen ÖV, MIV und Taxis. Auch Angebote für Menschen mit eingeschränkter Mobilität können mit denselben Fahrzeugen angeboten werden.
10. **Periurbane Umsteigehubs:** Die Umsteigevorgänge können aus Platzgründen nicht in der Kernstadt (Winterthur) bzw. in der Agglomeration (Winterthur Töss) stattfinden. Stattdessen braucht es einen neuen, periurban gelegenen Umsteigehub in Sennhof-Kyburg. Dies führt zu einem zusätzlichen Umsteigevorgang und damit einem Nachfragerückgang, wenn es nicht gelingt, von diesem Hub aus halb- oder viertelstündlich mit direkten S-Bahnen nach Zürich zu fahren. Auch in anderen Schweizer Kernstädten werden aufgrund des äusserst grossen Platzbedarfs und des Mehrverkehrs keine grossen Umsteigehubs realisierbar sein. Dies ruft nach einer Weiterentwicklung des Hubkonzeptes der Bahn. Zudem verlieren so P+R-Konzepte an Hauptbahnhöfen ihre Relevanz. Mit der Variante 4 kann aufgezeigt werden, dass bestehende S-Bahn-Stationen optimale Umsteigehubs darstellen können. Bestehende Infrastrukturen können genützt werden und aufgrund einer Verteilung der angefahrenen Stationen kommt es zu keiner Überbeanspruchung einzelner Hubs.
11. **Koordination mit Fernverkehr:** Die Möglichkeit, zu irgendeinem Zeitpunkt, on demand ein Robotaxi zu bestellen, nützt primär Reisenden im Binnenverkehr. Reisende, die das Untersu-

Luzern, 11. April 2018
 Seite 74/88

chungsgebiet verlassen (ausbrechender Verkehr) und dazu auf den Fernverkehr oder die leistungsfähigen S-Bahnlinien umsteigen profitieren nur davon, wenn die Robo-Taxis im gleichen Takt wie das übergeordnete Bahnangebot verkehren und sichere Anschlüsse gewährleisten.

12. **Siedlungsstruktur:** Die Siedlungsstruktur hat einen wichtigen Einfluss auf die Erstellung eines attraktiven ÖV-Angebotes. Dichte und linear liegende Siedlungen (z.B. in einem Tal) sind bedeutend einfacher zu erschliessen als flächenhaft-disperse Siedlungen. Diese Regel gilt auch für ein System mit selbstfahrenden Fahrzeugen, weil auch hier die Bündelung der Nachfrage einen entscheidenden Einfluss auf die Kosten des Angebots ausübt.

8.2 Systemmigration zu selbstfahrenden Fahrzeugen

Ein zentraler Aspekt im Übergang zu einem System mit selbstfahrenden Fahrzeugen ist die Überlegung, dass es sich bei SFF um ein komplett neues System handelt – mit neuen Akteuren, neuen Technologien und neuen Regulierungen. Das Etablieren eines neuen Verkehrssystems kann nicht quasi «über Nacht» gelingen, da es komplett neue Fragestellungen mit sich bringt. Vielmehr müssen die involvierten Akteure im System lernen können. Dazu gehört neben der Technologie (die sich auch nach einem Systemwechsel laufend verbessern lässt) beispielsweise auch die Regulation. Es wird kaum gelingen, zu Beginn schon eine «perfekte» Gesetzgebung zu erstellen, da viele mögliche Probleme noch gar nicht erkannt werden können. Ein (neues) System bzw. die in ihm tätigen Akteure müssen vielmehr laufend hinzu lernen und das System zum Wohle der Nutzenden weiter entwickeln können.

Analog z.B. zur Umstellung der Energieversorgung von grossen, zentralen Produktionsstätten hin zu schwieriger regulierbaren, dezentralen Einspeisepunkten (Fotovoltaikanlagen etc.) stellen sich auch im ÖV neue Fragen: welche Akteure sind wofür zuständig? Wer entscheidet welche wichtigen Fragen, auch während der Übergangszeit? Unten werden einige neue Fragestellungen angeführt, die sich aus den Überlegungen zur Systemmigration ergeben.

- Ab welcher Nachfrage lohnt sich eine Stilllegung einer Bahnstrecke, und wo ist die Bahn als Massentransportmittel weiterhin zentral?
- Welche bestehende Infrastruktur wird also noch benötigt und welche Infrastruktur kann allenfalls rückgebaut werden?
- Wie hoch sind die Kosten für den Rückbau? Wer trägt die Kosten dafür?
- Wer trägt die notwendige Abschreibung auf einer noch nicht abgeschriebenen Infrastruktur?
- Wie sind die Hubs (Bahnhöfe der Zukunft gemäss Klassifizierung der SBB) auszugestalten?
- Können nicht mehr benutzte Bahntrassen allenfalls als getrennte Fahrspuren (Eigentrasse) benützt werden? Diese Option wäre insbesondere für die Einfahrt mit Bussen in städtischen Regionen interessant.

8.3 Übertragbarkeit auf andere Regionen in der Schweiz

Für das Identifizieren von potenziellen Regionen für ein Geschäftsmodell mit selbstfahrenden Fahrzeugen sind mehrere Faktoren wichtig. Die unten stehende Tabelle stellt diese im Überblick vor.

Tabelle 22: Faktoren für die Identifikation von weiteren potenziellen Regionen

Angebotsseitig	
Kostendeckungsgrad	Tiefer Kostendeckungsgrad des öffentlichen Verkehrs in der Region.
Anzahl und Volumen der heute angebotenen Verbindungen pro Tag	Je dünner das Angebot heute ist, desto interessanter ist ein Geschäftsmodell mit SFF aus Kundensicht (wegen Qualitätsverbesserung durch Taktverdichtung). Gleichzeitig ist es in diesen Regionen besonders schwierig, mit traditionellen, grossen Gefässen akzeptable Kostendeckungsgrade zu erreichen.
Bahnhöfe des überregionalen Bahnnetzes	Bahnhöfe im Perimeter, welche sich als Hubs eignen (guter Anschluss an den nationalen Verkehr, gute Anbindung an das Strassennetz, genügend Platz fürs Umsteigen auf die Robovans resp. Robotaxis etc.).
Nachfrageseitig	
Volumen an Fahrgästen	Bei hoher Nachfrage ist die Bahn gegenüber einem Anbieter mit SFF auch in Zukunft wettbewerbsfähig (International Transport Forum, 2015). Das bedeutet, dass sich bei grossem Fahrgastvolumen ein System mit SFF finanziell nicht lohnt. Gleichzeitig stellen die grossen Volumen an ankommenden resp. abfahrenden Fahrgästen an einem Hub die Anbieter und die Verkehrsplanung vor grosse Herausforderungen (hoher Platzbedarf an den Hubs, Flottengrösse, Stauprobleme etc.).
Räumliche Nachfragestruktur	Die Siedlungsstruktur hat einen wichtigen Einfluss auf die Erstellung eines attraktiven ÖV-Angebotes. Dichte und auf einer Linie gelegene Siedlungen (z.B. in einem Tal) sind bedeutend einfacher zu erschliessen als flächenhaft-disperse Siedlungen, weil eine Bündelung der Nachfrage und dadurch eine bessere Auslastung der eingesetzten Fahrzeuge möglich ist. Eine grosse Siedlung in der Nähe der Quellgebiete führt zu einer höheren Nachfragebündelung als viele kleinere Ziele. Auch die durchschnittlichen Fahrzeiten beeinflussen die Auslastung der Flotte. Bei kürzeren Fahrzeiten kann ein Fahrzeug auch mehr Fahrten und damit mehr Umsatz erzielen. Bei speziellen Siedlungsstrukturen (z.B. einem Alpental mit einem oder wenigen Seitentälern) könnte auch eine Variante «Bahn plus Robovans» bzw. «Bus plus Robovans» attraktiv sein. Die SFF hätten lediglich die Funktion des Zubringers auf die Bahn. Die Bahn in der Region würde weiter bestehen, und SFF ersetzen die heutigen Regionalbusse. In Gebieten mit schwacher, dispers verteilter Nachfrage hingegen könnten die Probleme mit den hohen Volumen an den Hubs mindestens teilweise wegfallen, wenn in der Realität auch über Gebietsgrenzen hinaus gefahren wird und weil solche Gebiete typischerweise viele Binnenfahrten in der Region beinhalten.
Zeitliche Nachfragestruktur	Die Flottendimension orientiert sich an der Spitzenstunde. Je weniger ausgeprägt diese ist, desto kleiner ist die benötigte Flotte.

Die Analyse dieser Faktoren zeigt, dass für den Erfolg eines Geschäftsmodells diverse Faktoren wie das vorhandene Angebot, das Fahrgastvolumen und die räumliche und zeitliche Nachfragestruktur eine wichtige Rolle spielen. Statt diese Faktoren zu operationalisieren und mit Schwellenwerten für die Eignung von SFF zu versehen, wird ein anderer Ansatz vorgeschlagen. Der Kostendeckungsgrad scheint eine geeignete Grösse für die Klärung der Frage zu sein, ob eine Region für die Einführung von SFF interessant ist. Dies insbesondere darum, weil er viele der anderen Faktoren in sich vereint.

Tendenziell sind somit ländliche Regionen mit Bahnlinien, die einen tiefen Kostendeckungsgrad ausweisen, für eine Übertragung des in Kapitel 7 identifizierten Geschäftsmodells mit SFF interessant. Das BAV hat kürzlich im Auftrag des Bundesrates eine Liste mit Regionallinien im öffentlichen Verkehr mit einem Kostendeckungsgrad von unter 50% erstellt (vgl. Anhang C, BAV 2012). Darin sind rund 175 von Total 300 Regionallinien aufgeführt, welche als betriebswirtschaftlich kritisch angesehen werden. Diese kommen entsprechend in Frage für weiterführende Untersuchungen.

Auch Regionen mit schlecht ausgelasteten Buslinien sind potenziell interessant für ein Geschäftsmodell mit SFF von Tür zu Tür. Bei Regionen mit gut ausgelasteten Bus- und Bahnlinien sind hingegen Systeme analog den Varianten 1 und 2 vorzuziehen (vgl. Kapitel 4.2 und 4.3).

8.4 Handlungsempfehlungen für die SBB

Bezüglich der Position der SBB für die Herausforderungen der Digitalisierung bzw. des automatisierten Fahrens lässt sich festhalten, dass die SBB insgesamt bereits heute gute bis sehr gute Voraussetzungen mitbringen, weil sie über eine Kombination aus starker IT und lokaler Vorteile verfügen. Letztere liegen in folgenden Bereichen:

- Informatik (leistungsfähige Informations-, Distributions- und Planungssysteme)
- Kundenkontakt (im Gegensatz etwa z.B. zu Uber und Google)
- Kompetenzen im Yield Management
- Management der Bahnhöfe
- Immobilien (inkl. Parkplätze an Umsteige-Hubs)
- Marke (inklusive Swissness, wichtig wegen Vertrauen und Datensicherheit)
- Prozessexzellenz (insbesondere Reinigungskosten werden mit SFF wichtiger)
- Leistungsstarkes Fernverkehrsnetz und S-Bahn-Angebot

Im Vergleich mit anderen möglichen Anbietern lassen sich allerdings auch bedeutende komparative Nachteile der SBB benennen:

- Keine Start-up-Mentalität, eher träges Umfeld für digitale Innovationen
- Selbstfahrende Fahrzeuge (Strasse generell) liegen nicht nahe am heutigen Kerngeschäft
- Wenige bis (regional) fehlende Kenntnisse mit eigenen Busangeboten
- Lokale Kenntnisse für die Angebotsplanung fehlen teilweise

Konkret können die SBB bereits heute in fünf Bereichen aktiv werden, um auf den genannten Stärken aufbauend mögliche Angebote mit einer selbstfahrenden Fahrzeugflotte optimal vorzubereiten.

- Entwicklung der regulatorischen Rahmenbedingungen aktiv beobachten
- Technologische Entwicklungen beobachten und Kompetenz in der Disposition hoch halten, sowie die Digitalisierung- und Automatisierung im Bahnbereich umsetzen
- Angebotsplanung auf dem Kernnetz auf die Herausforderungen in einem System mit SFF ausrichten (Vorstadthalte; flexible Endbahnhöfe)

Luzern, 11. April 2018
 Seite 77/88

- Weiterentwicklung des Hubkonzepts forcieren, v.a. in Bezug auf das Parkplatzmanagement sowie dem Park-and-Ride-Angebot und zeitlich flexiblen Endhaltestellen
- Empirische bzw. unternehmerische Erfahrungen sammeln durch Pilotversuch(e) im ländlichen Raum (gemeinsam mit regionalem Busunternehmen)

Diese fünf Bereiche werden anschliessend etwas detaillierter ausgeführt.

1. Regulatorische Entwicklungen

Die Ausgestaltung eines zukünftigen Systems mit selbstfahrenden Fahrzeugen im ländlichen Raum kann auf diverse Arten ausgestaltet werden. Es ist zu erwarten, dass der Staat auch weiterhin eine wichtige Rolle als Regulator einnehmen wird, auch wenn ein System gänzlich ohne Subventionen bzw. Abgeltungen funktionieren kann (siehe Kapitel 7). Für die SBB ist diese Systemgestaltung von entscheidender Bedeutung. Es empfiehlt sich daher sehr, die möglichen regulatorischen Kontexte und die möglichen Geschäftsmodelle (ebenfalls in Kapitel 7) intensiv zu beobachten, die jeweiligen Vor- und Nachteile abzuwägen und darauf aufbauend eine Strategie für den Umgang mit SFF zu formulieren. Die SBB haben heute wohl die besten Behördenkontakte im direkten Vergleich mit möglichen Konkurrenten (Automobilhersteller, Datenspezialisten, Regionalbusanbieter).

2. Kompetenz in der Disposition

Eine gute Disposition der Fahrzeuge ist für den Geschäftserfolg mit SFF entscheidend. Bereits heute verfügen die SBB über hohe Kompetenz in der Angebotsgestaltung und in der Disposition. Der Blick auf die Kompetenzen von uber, Lyft und weiteren Anbietern zeigt aber, dass eine dynamische Disposition mit vielen Akteuren noch deutlich anspruchsvoller ist. Die SBB kann ihre bestehenden Stärken in der Disposition durch Dienstleistungen für Dritte ausbauen oder mindestens die Voraussetzungen in der IT dafür schaffen, dass der Aufbau einer vollautomatischen, dynamischen Disposition von SFF innerhalb eines überschaubaren Zeitraums zu realisieren sein wird. Für die Entwicklung eines zukünftigen Dispositionsssoftware empfiehlt sich eine Technologiepartnerschaft mit einem führenden Anbieter. Entsprechend scheint es lohnenswert, die entsprechenden Entwicklungen (inkl. möglicher neuer Anbieter) genau zu beobachten.

3. Angebotsplanung Kernnetz

Die Analysen in diesem Forschungsprojekt haben mögliche Schwierigkeiten an den Hubs aufgezeigt und diesen Punkt als erfolgskritisch identifiziert (trotz Überschätzung durch das Untersuchungsdesign). Damit stellt sich die Frage nach der optimalen Systemgrenze zwischen kleinen, mittleren und grossen Gefässen. Die SBB können die Antwort darauf in zwei Punkten vorbereiten.

- a. Vorstadthalte und Durchbindungen: in diesem Projekt wurde aufgezeigt, dass SFF kaum zu den grossen Bahnhöfen in Schweizer Städten fahren können – die Verkehrsmengen sind zu gross und der politische Wille der Städte läuft in die gegenteilige Richtung. Entsprechend erhalten die vorstädtischen Knotenpunkte eine wichtigere Rolle. Die SBB können diese Entwicklung antizipieren, indem sie Vorstadthalte von Intercityverbindungen bewusst weitertreiben. Dies gilt beispielsweise für die Stationen Wankdorf, Zürich-Altstetten, Ebikon oder Pratteln. Ebenso sind Durchbindungen wie diejenige der S11 über Winterthur hinaus interessant, weil so direkte Verbindungen aus dem Tösstal nach Zürich möglich sind. Dies ist insbesondere in mittelgrossen Städten interessant, von denen aus Direktverbindungen in Metropolitanregionen möglich sind (Lausanne-Lutry in Richtung Genf, St.Gallen-Fiden in Richtung Zürich, Villars-sur-Glâne Richtung Bern etc.).

Luzern, 11. April 2018
 Seite 78/88

- b. Den zweiten interessanten Ansatz stellen flexible Endhaltestellen dar. Ein gutes Beispiel dafür haben der ZVV und die SBB bereits im Untersuchungsperimeter Tösstal realisiert. Die S11 wird ab Fahrplan 2018 unterschiedlich weit ins Tösstal hineingeführt. In der HVZ fährt sie weiter ins Tösstal hinein, was zu einer Entzerrung der Platzprobleme an Umsteigebahnhöfen führt. In der NVZ und RVZ kann diese Funktion dann von SFF günstiger übernommen werden. Dieses Konzept (grösseres Kernnetz Bahn in der HVZ als in der NVZ/RVZ) können die SBB auf diverse weitere Orte in der Schweiz übertragen.

4. **Pilotversuch im ländlichen Raum**

Bisherige Pilotversuche mit SFF in der Schweiz haben sich auf den städtischen Raum beschränkt (vgl. Postauto in Sion, TPF in Fribourg, vbsh in Schaffhausen). Die Herausforderungen im ländlichen Raum unterscheiden sich jedoch deutlich davon. In einem Pilotversuch könnten die SBB einerseits eine gewisse Präsenz in der Fachwelt und in den Medien erhalten und neue Partnerschaften mit Unternehmen im ländlichen Raum testen. Andererseits könnten sie in einem Pilotprojekt auch wichtige Erfahrungen sammeln. Viele Fragen sind noch völlig ungeklärt (siehe dazu auch Kapitel 8.4); sie könnten in realen Tests beantwortet oder mindestens untersucht werden.

SFF sind wie die Digitalisierung in der Mobilität insgesamt eine fundamentale Neuerung für Betreiber, insbesondere aber auch für die Kunden. Entsprechend sind das Ansprechen offener Fragen und das Testen möglicher Antworten wichtige Schritte auf dem Weg zu einer hohen Kundenakzeptanz. Ein System selbstfahrender Fahrzeuge kann nicht von heute auf morgen eingeführt werden; es braucht ein Testen und Herausfinden, und alle beteiligten Akteure im System müssen die Möglichkeit haben, hinzu zu lernen: die Fahrzeughersteller, die Betreiber, der Regulator (Gesetz, Kontrolle, Rechtssprechung) und auch der Kunde. Nur so entsteht das notwendige Vertrauen der Kunden in ein neues Angebot. Entsprechend kann einem Pilotversuch eine hohe Bedeutung bei der Bildung von Vertrauen zukommen.

8.5 Offene Fragen und Forschungsbedarf

Diverse Fragen bleiben auch nach diesem Projekt noch offen und scheinen eine weitere Untersuchung wert. Sie müssten teilweise mit anderen methodischen Ansätzen als in diesem Projekt (Modellierung, Simulation, Pilotprojekt etc.) untersucht werden. Teilweise könnte auch Übertragungen von bestehenden System wie z.B. Midtrafik in Aarhus (DK) geleistet werden.

- Wie sollte der zukünftige Regulierungsrahmen für SFF (inkl. selbstfahrende Busse) im ländlichen Raum aussehen, insbesondere dort wo diese kommerziell betrieben werden können? Soll der Betrieb exklusiv konzessioniert werden? Welche Verpflichtungen müssen Betreiber einhalten? Werden SFF in den DV einbezogen?
- Wie wäre eine Flotte sinnvollerweise strukturiert: Homogen mit 4- bzw. 8 Plätzen, oder...
 - o würde sich ein Mischbetrieb lohnen (zur HVZ Busse statt 8Plätze auch bis Winterthur)?
 - o würde sich eine Mischflotte lohnen (z.B. 4Plätze, 8Plätze, 16Plätze und 30Plätze)?
 - o würde sich eine „Grundflotte“ lohnen, die in der Spitzenzeit mit freien privaten Fahrzeugen kombiniert würde (die privaten Fahrzeuge könnten evtl. auch durch den Flottenbetreiber gemanagt werden – Stichwort „Ride Sharing“)
- Dürfen voll besetzte 8-Plätze auch zur HVZ in die Städte fahren? Wenn ja: dürfen sie die Busspur nutzen. Wenn nein: wie wird die Akzeptanz dafür gesichert, wenn private SFF gleichzeitig in die Stadt fahren dürfen? Mit Road Pricing?
- Wie gross ist die Akzeptanz für sharing in der Praxis tatsächlich? Wie kann sie gesteigert werden?
- Welche durchschnittlichen Auslastungen sind in ländlichen Räumen in der Praxis zu erreichen?
- Wie viele Anbieter können in ländlichen Räumen in einer Konkurrenzsituation bestehen?
- Wie sinnvoll sind Haltestellen noch? Lohnt sich der Betrieb von Haltestellen nur in der HVZ?
- Was heisst «Haustüre» im ländlichen Raum? Werden auch peripher gelegene Haushalte bedient?
- Welcher Umweg und welche Verlustzeiten werden von Fahrgästen in SFF maximal akzeptiert?
- Wie werden die idealen Orte für Hubs gewählt und wie werden Hubs optimal gestaltet?

Luzern, 11. April 2018
Seite 80/88

Quellenverzeichnis

- ARE / BFS (2012): Mobilität und Verkehr. Ergebnisse des Mikrozensus 2010. Bern/Neuchâtel: Bundesamt für Raumentwicklung / Bundesamt für Statistik.
- BAV (2015): Reform für den Regionalen Personenverkehr der Schweiz: Auslegeordnung und Empfehlungen der Expertengruppe. Stand nach Anhörung der Stakeholder. Bern: BAV.
- BFS und ARE (2017): Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015. Neuchâtel/Bern: Bundesamt für Statistik/ Bundesamt für Raumentwicklung.
- Beckmann, Jörg (2016): Im Automat: Die Heilsversprechen selbstfahrender Autos auf dem Prüfstand. Drei Hauptsätze einer vollautomatisierten Mobilität. Bern: TCS Mobilitätsakademie.
- Bösch, Patrick M., Francesco Ciari und Kay W. Axhausen (2016): Required Autonomous Vehicle Fleet Sizes to Serve Different Levels of Demand. Paper submitted to the Transport Research Board.
- Bösch, Patrick M., Felix Becker, Henrik Becker und Kay W. Axhausen (2017): Cost-based Analysis of Autonomous Mobility Services. Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung Nr. 1225. Zürich: IVT, ETH Zürich.
- Cerwenka, Peter, Georg Hauger, Bardo Hörl und Michael Klamer (2007): Handbuch der Verkehrssystemplanung. Wien: Österreichischer Kunst- und Kulturverlag.
- Dungs, Jennifer, Florian Herrmann, Daniel Duwe, Alexander Schmidt, Sebastian Stegmüller, Ralf Gaydoul, Peter Lukas Peters und Maik Sohl (2016): »The Value of Time«. Nutzerbezogene Service-Potenziale durch autonomes Fahren. Stuttgart: Fraunhofer IAO und Horváth&Partners.
- Ethik-Kommission (2017): Automatisiertes und Vernetztes Fahren. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Fernandes P. und U. Nunes (2010): Platooning of autonomous vehicles with intervehicle communications in SUMO traffic simulator. 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), S. 1313–1318.
- Fagnant, Daniel J. und Kara Kockelman (2014): Simulating Fleet Operations for Shared Autonomous Vehicles Using Dynamic Ride Sharing in an Urban Network [ITM # 41]. Presented at the Transportation Research Board Conference on Innovations in Travel Modeling in Baltimore.
- Köhler, Uwe (2014): Einführung in die Verkehrsplanung. Grundlagen, Modellbildung, Verkehrsprognose, Verkehrsnetze. Stuttgart: Fraunhofer IBR.
- ITF (2015): Urban Mobility System Upgrad. How shared self-driving cars could change city traffic. OECD: International Transport Forum.

Luzern, 11. April 2018
Seite 81/88

- Meyer, Jonas, Henrik Becker, Patrick M. Bösch und Kay W. Axhausen (2016): Impact of Autonomous Vehicles on the Accessibility in Switzerland. Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung Nr. 1177. Zürich: IVT, ETH Zürich.
- Osterwalder Alexander und Yves Pigneur (2011): Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers. Hoboken, NJ: Wiley.
- Prognos (2016): Gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr bis 2040. Bern: Bundesamt für Raumentwicklung.
- Spieser, Kevin, Kyle Ballantyne, Treleaven, Rick Zhang, Emili Frazzoli, Daniel Morton, Marco Pavone (2014): Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems. A Case Study in Singapore. In: Meyer, Gereon and Sven Beiker (eds.) (2014): Road Vehicle Automation. Lecture Notes in Mobility. Berlin: Springer.
- Tages-Anzeiger (2017): Fahrt ins Blaue. Walter Jäggi. Tagesanzeiger vom 24.5.2017.
- Vrtic, Milenko, D. Lohse, C. Schiller, Ph. Fröhlich, N. Schüssler, H. Teichert und K.W. Axhausen (2006): Ein zweiseitig gekoppeltes Modell zur simultanen Berechnung der Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung: theoretischer Hintergrund und praktische Anwendung für ein nationales Modell der Schweiz, Verkehrsforschung-Online, 3, 1-28.
- VDV (2015): Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge: Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen. Köln: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V.
- Weidmann, Ulrich (2011): System- und Netzplanung. Grundlagen der System- und Netzplanung, Verkehrssysteme im öffentlichen Verkehr, System- und Netzplanung des Personenverkehrs. Zürich: IVT, ETH Zürich.
- Zachariah, Jaison, Jinkang Gao, Alain Kornhauser, Talal Mufti (2013): „Uncongested mobility for all: A proposal for an area wide autonomous taxi system in New Jersey.“

Luzern, 11. April 2018
Seite 82/88

Anhang

Anhang A: ZVV-Liniennetzplan



Quelle: ZVV-Liniennetzplan/ eigene Darstellung

Luzern, 11. April 2018
 Seite 83/88

Anhang B: Detaillierte Kostenzahlen

VehicleType	Area	Operation	Steering	Propulsion	CostVehKM [CHF]	CostSeatKM [CHF]	CostPassKM [CHF]
Bus	Reg	PT-P	Aut	Elec	-	0.05	0.38
Bus	Reg	PT-P	N. aut	Elec	-	0.11	0.84
Bus	Reg	PT-P	Aut	N. elec	-	0.05	0.40
Bus	Reg	PT-P	N. aut	N. elec	-	0.11	0.89
Bus	Urb	PT-P	Aut	Elec	-	0.05	0.23
Bus	Urb	PT-P	N. aut	Elec	-	0.11	0.50
Bus	Urb	PT-P	Aut	N. elec	-	0.05	0.24
Bus	Urb	PT-P	N. aut	N. elec	-	0.12	0.53
Midsized	*	Priv	Aut	Elec	0.67	0.17	0.47
Midsized	*	Priv	N. aut	Elec	0.63	0.16	0.44
Midsized	*	Priv	Aut	N. elec	0.72	0.18	0.50
Midsized	*	Priv	N. aut	N. elec	0.69	0.17	0.48
Midsized	Reg	PT-NP	Aut	Elec	0.35	0.09	0.31
Midsized	Reg	PT-NP	N. aut	Elec	2.16	0.54	1.90
Midsized	Reg	PT-NP	Aut	N. elec	0.37	0.09	0.32
Midsized	Reg	PT-NP	N. aut	N. elec	2.19	0.55	1.92
Midsized	Reg	PT-P	Aut	Elec	0.39	0.10	0.20
Midsized	Reg	PT-P	N. aut	Elec	2.16	0.54	1.12
Midsized	Reg	PT-P	Aut	N. elec	0.41	0.10	0.21
Midsized	Reg	PT-P	N. aut	N. elec	2.19	0.55	1.13
Midsized	Urb	PT-NP	Aut	Elec	0.48	0.12	0.39
Midsized	Urb	PT-NP	N. aut	Elec	3.35	0.84	2.70
Midsized	Urb	PT-NP	Aut	N. elec	0.51	0.13	0.41
Midsized	Urb	PT-NP	N. aut	N. elec	3.38	0.85	2.73
Midsized	Urb	PT-P	Aut	Elec	0.58	0.15	0.28
Midsized	Urb	PT-P	N. aut	Elec	3.35	0.84	1.60
Midsized	Urb	PT-P	Aut	N. elec	0.61	0.15	0.29
Midsized	Urb	PT-P	N. aut	N. elec	3.38	0.85	1.61
Minibus	Reg	PT-P	Aut	Elec	0.61	0.03	0.31
Minibus	Reg	PT-P	N. aut	Elec	2.37	0.12	1.23
Minibus	Reg	PT-P	Aut	N. elec	0.67	0.03	0.35
Minibus	Reg	PT-P	N. aut	N. elec	2.44	0.12	1.26
Minibus	Urb	PT-P	Aut	Elec	0.98	0.05	0.24
Minibus	Urb	PT-P	N. aut	Elec	1.89	0.09	0.46
Minibus	Urb	PT-P	Aut	N. elec	1.04	0.05	0.25
Minibus	Urb	PT-P	N. aut	N. elec	1.96	0.10	0.47
Rail	Reg	PT-P	Aut	Elec	-	0.10	0.44
Rail	Reg	PT-P	N. aut	Elec	-	0.11	0.47
Rail	Reg	PT-P	Aut	N. elec	-	0.10	0.44
Rail	Reg	PT-P	N. aut	N. elec	-	0.11	0.47
Solo	*	Priv	Aut	Elec	0.35	0.35	0.35

Luzern, 11. April 2018
 Seite 84/88

VehicleType	Area	Operation	Steering	Propulsion	CostVehKM [CHF]	CostSeatKM [CHF]	CostPassKM [CHF]
Solo	*	Priv	N. aut	Elec	0.33	0.33	0.33
Solo	*	Priv	Aut	N. elec	0.38	0.38	0.38
Solo	*	Priv	N. aut	N. elec	0.38	0.38	0.38
Solo	Reg	PT-NP	Aut	Elec	0.23	0.23	0.28
Solo	Reg	PT-NP	N. aut	Elec	2.07	2.07	2.59
Solo	Reg	PT-NP	Aut	N. elec	0.25	0.25	0.31
Solo	Reg	PT-NP	N. aut	N. elec	2.09	2.09	2.62
Solo	Urb	PT-NP	Aut	Elec	0.34	0.34	0.39
Solo	Urb	PT-NP	N. aut	Elec	3.26	3.26	3.74
Solo	Urb	PT-NP	Aut	N. elec	0.36	0.36	0.41
Solo	Urb	PT-NP	N. aut	N. elec	3.28	3.28	3.77
Van	*	Priv	Aut	Elec	1.14	0.14	0.80
Van	*	Priv	N. aut	Elec	1.04	0.13	0.73
Van	*	Priv	Aut	N. elec	1.22	0.15	0.86
Van	*	Priv	N. aut	N. elec	1.14	0.14	0.80
Van	Reg	PT-P	Aut	Elec	0.55	0.07	0.28
Van	Reg	PT-P	N. aut	Elec	2.31	0.29	1.19
Van	Reg	PT-P	Aut	N. elec	0.58	0.07	0.30
Van	Reg	PT-P	N. aut	N. elec	2.35	0.29	1.21
Van	Urb	PT-P	Aut	Elec	0.74	0.09	0.35
Van	Urb	PT-P	N. aut	Elec	3.49	0.44	1.66
Van	Urb	PT-P	Aut	N. elec	0.77	0.10	0.37
Van	Urb	PT-P	N. aut	N. elec	3.54	0.44	1.69

Abbreviations:

Reg: Regional (suburban and exurban)

Urb: Urban

*: Overall

Priv: Private ownership (for private ownership the area was not differentiated (see *Average usages*) resulting in the same values for both regions)

PT-P: PT with Pooling

PT-NP: PT Non-Pooling, especially relevant for midsize taxis

Aut: Autonomous

N. aut: Not autonomous

Elec: Electrified

N. elec: Not electrified

Quelle: Bösch et al. 2017, S. 47-48

Luzern, 11. April 2018
Seite 85/88

Anhang C: Liste nicht rentabler Linien

Rorschach Hafen - Heiden	AB
Gais - Altstätten Stadt	AB
Rheineck - Walzenhausen	AB
Gossau - Appenzell - Wasserauen	AB
S12 St. Gallen - Trogen	AB
Solothurn - Niederbipp	asm
Langenthal - St. Urban Ziegelei	asm
Biel/Bienne - Täuffelen - Ins	asm
Langenthal - Niederbipp	asm
S17 Wohlen - Bremgarten - Dietikon	BDWM
Murten - Payerne (Verdichtungszüge)	BLS
Murten - Kerzers	BLS
RE Spiez - Interlaken Ost	BLS
S44 Burgdorf - Wiler [- Solothurn	BLS
Burgdorf - Solothurn	BLS
Kerzers - Lyss (- Büren a.A.)	BLS
S31 Belp - Bern (- Münchenbuchsee - Biel/Bienne)	BLS
Thun - Hasle-Rüegsau [- Burgdorf	BLS
S7 Wolhusen - Langenthal	BLS
S61 Luzern - Schachen LU	BLS
Spiez - Frutigen (Verdichtungszüge)	BLS
(Kerzers -) Lyss - Büren a.A.	BLS
S6 Luzern - Wolhusen - Langnau /(- Langenthal)	BLS
S6 (Luzern -) Wolhusen - Langenthal	BLS
S52 Bern - Kerzers [- Neuchâtel	BLS
S3 Thun -] Belp - Bern (- Biel/Bienne)	BLS
S51 Bern - Bern Brünnen Westside	BLS
Spiez - Interlaken Ost	BLS
RE Spiez - Zweisimmen	BLS
S6 Bern - Schwarzenburg	BLS
S2 Laupen - Flamatt - Bern (- Konolfingen - Langnau)	BLS
RE (Thun -) Burgdorf - Solothurn	BLS
S1 Fribourg - Flamatt - Bern (- Münsingen - Thun)	BLS
Le Noirmont - Tavannes	CJ
Porrentruy - Bonfol	CJ
La Chaux-de-Fonds - Le Noirmont - Glovelier	CJ
(Singen -) Thayngen - Erzingen (- Waldshut)	DB
Locarno - Camedo (- Domodossola)	FART
S60 Lugano - Ponte Tresa	FLP
Lausanne - Bercher	LEB
Apples - L'Isle	MBC
Morges - Apples - Bière	MBC
Visp - Brig - Andermatt - Disentis /- Göschenen	MGB

Luzern, 11. April 2018
Seite 86/88

Meiringen - Innertkirchen	MIB
Montreux - Les Avants	MOB
Zweisimmen - Lenk	MOB
Zweisimmen - Saanen (- Châteaux d'Oex)	MOB
Montreux - Zweisimmen	MOB
Montreux - Glion - Haut-de-Caux (- Rochers-de-Naye)	MVR
Vevey - Blonay - Ondallaz-L'Alliaz (- Les Pléiades)	MVR
Nyon - St-Cergue - La Cure	NStCM
St-Gingolph - St-Maurice - Sion - Brig	RA
Martigny - Orsières /- Le Châble	RA
Vitznau - Rigi Staffelhöhe (- Rigi Kulm)	RB
Landquart - Klosters - St. Moritz	RhB
Klosters - Filisur (Regionalzüge)	RhB
Pontresina - Scuol-Tarasp (Regionalzüge)	RhB
Chur - Thusis (Regionalzüge)	RhB
Schiers - Rhäzüns (Regionalzüge)	RhB
Palézieux - Romont	SBB
Vallorbe - Le Pont (- Le Brassus)	SBB
Sonceboz-Sombeval - Malleray-Bévilard (Verdichtungszüge)	SBB
Pfäffikon SZ - Ziegelbrücke (Zusatzzüge)	SBB
RE (Biel/Bienne - Delémont -) Porrentruy - Boncourt - Delle	SBB
(Morteau -) Le Locle-Col-des-Roches - La Chaux-de-Fonds (Prolongement SNCF)	SBB
S3 Basel SBB - Laufen - Delémont (Nachtangebot)	SBB
S9 Sissach - Läfelfingen - Olten	SBB
Gorgier-St-Aubin - Neuchâtel	SBB
Biel/Bienne - Sonceboz-Sombeval - Moutier	SBB
RE Solothurn - Grenchen Süd	SBB
S30 Bellinzona - Pino-Tr (- Luino)	SBB
S4 (Allaman -) Lausanne - Palézieux	SBB
S2 (Vallorbe -) Lausanne - Palézieux	SBB
S1 Basel SBB - Laufenburg /- Frick - Brugg AG (Nachtangebot)	SBB
Murten - Payerne	SBB
Genève - La Plaine (- Bellegarde (Ain))	SBB
Romont - Fribourg	SBB
S20 Castione-Arbedo - Bellinzona - Locarno	SBB
Biel/Bienne - Sonceboz-Sombeval - La Chaux-de-Fonds	SBB
S29 (Langenthal - Olten -) Aarau - Wildegg - Turgi	SBB
Neuchâtel - Travers (- Buttes)	SBB
S31 Vevey - Puidoux-Chexbres	SBB
S9 Luzern - Hochdorf - Lenzburg	SBB
S24 Zürich HB - Horgen Oberdorf [- Cham	SBB
S3 (Olten - Laufen -) Delémont - Porrentruy	SBB
Solothurn - Moutier (- Sonceboz-Sombeval)	SBB
S28 Lenzburg - Suhr - Zofingen	SBB
S3 Olten - Basel SBB (Nachtangebot)	SBB
RE (Bulle -) Romont - Fribourg	SBB
S8 Olten - Sursee	SBB
Ziegelbrücke - Sargans - Chur	SBB

Luzern, 11. April 2018
Seite 87/88

S26 Aarau - Lenzburg - Wohlen - Muri AG - Rotkreuz	SBB
S15 (Rapperswil - Uster -) Zürich HB - Affoltern a.A.	SBB
Oensingen - Balsthal	SBB
Neuchâtel - Biel/Bienne	SBB
S4 Allaman - Lausanne (- Palézieux)	SBB
S27 Wettingen -] Baden - Koblenz - Waldshut /- Bad Zurzach	SBB
RE (Biel/Bienne -) Delémont - Porrentruy (- Delle)	SBB
S18 Sursee - Luzern (- Baar)	SBB
S2 Baar Lindenpark - Zug - Arth-Goldau - Erstfeld	SBB
S10 Airola - Bellinzona - Lugano - Chiasso (- Albate)	SBB
Yverdon-les-Bains - Neuchâtel	SBB
S14 Zürich HB - Wetzikon - Hinwil (Teilstück Zürich - Wetzikon)	SBB
Biel/Bienne -/ Oberdorf SO - Solothurn - Olten	SBB
S Zürich Altstetten - Wädenswil - Einsiedeln (Zusatzzüge)	SBB
S8 (Pfäffikon SZ - Zürich HB -) Winterthur - Weinfelden	SBB
Yverdon-les-Bains - Payerne - Fribourg	SBB
Lancy-Pont Rouge - Genève - Coppet	SBB
S21 Zürich HB -] Thalwil - Zug	SBB
S8 (Weinfelden -) Zürich HB - Pfäffikon SZ - [Rapperswil	SBB
S3 Luzern - Arth-Goldau - Brunnen [- Erstfeld	SBB
S21 Lausanne - Palézieux - Payerne	SBB
S23/S29 Langenthal - Olten - Aarau (- Lenzburg - Baden)	SBB
(Rapperswil -) Ziegelbrücke - Linthal	SBB
Neuchâtel - La Chaux-de-Fonds - Le Locle [- Le Locle-Col-des-Roches	SBB
S2 Vallorbe - Lausanne (- Palézieux)	SBB
S1 (Villeneuve -) Lausanne - Yverdon-les-Bains	SBB
S3 (Olten -) Basel SBB - Laufen - Delémont (- Porrentruy)	SBB
S23 (Langenthal - Olten -) Aarau - Lenzburg - Brugg AG - Baden	SBB
S1 Basel SBB - Laufenburg /- Frick [- Brugg AG	SBB
S6 Basel SBB - Basel Bad. Bahnhof (- Zell)	SBB-D
St. Gallen - Herisau (Randstundenzüge)	SOB
Rapperswil - Pfäffikon SZ (Shuttlezüge)	SOB
Biberbrugg - Einsiedeln (Shuttlezüge)	SOB
Wädenswil - Einsiedeln (Grossanlässe ZVV)	SOB
S31 Arth-Goldau - Biberbrugg	SOB
Romanshorn - St. Gallen (Randstundenzüge)	SOB
Rapperswil - Arth-Goldau (Einschaltzüge)	SOB
S40 Rapperswil - Einsiedeln	SOB
S32 Arth-Goldau - Rotkreuz	SOB
S4 Rapperswil -] Uznach - Wattwil - St. Gallen	SOB
S13 Wädenswil - Einsiedeln	SOB
S9 Wil - Wattwil - Nesslau-Neu St. Johann	SOB
6 (Bern Fischermätteli -) Bern Bahnhofplatz - Muri - Worb Dorf	SVB
SN4 Zürich HB - Adliswil - Langnau-Gattikon (Nachtangebot)	SZU
S5 Weinfelden - St. Gallen (Verdichtung)	THURBO
S6 St. Gallen - St. Gallen Haggen [- Herisau	THURBO
S41 (Waldshut -) Koblenz Grenze - Bülach (- Winterthur)	THURBO
Weinfelden - Konstanz (Nachtangebot)	THURBO

Luzern, 11. April 2018
 Seite 88/88

Buchs SG - Sargans (FLACH)	THURBO
S29 Winterthur - Stein am Rhein	THURBO
S St. Gallen - Sargans (Zusatzzüge)	THURBO
S26 Winterthur - Bauma - Rüti ZH	THURBO
SN Winterthur - Bülach	THURBO
S9 Wil - Wattwil	THURBO
S30 Winterthur - Frauenfeld - Weinfelden	THURBO
S7/S8 (Weinfelden -/ Kreuzlingen -) Romanshorn - Rorschach	THURBO
S22 Bülach - Schaffhausen (- Singen)	THURBO
S35 Winterthur - Wil	THURBO
SN3 Schaffhausen - Stein am Rhein (Nachtangebot)	THURBO
S3 (St. Gallen -) Kreuzlingen - Stein am Rhein (- Schaffhausen)	THURBO
S41 (Waldshut -) Bülach - Winterthur	THURBO
Martigny - Le Châtelard-Frontière	TMR
Aigle - Les Diablerets	TPC
Aigle - Ollon - Monthey - Champéry	TPC
Aigle - Leysin	TPC
Bex - Villars-sur-Ollon (- Col-de-Bretaye)	TPC
Bulle - Montbovon	TPF
Bulle - Palézieux	TPF
RE Bulle - Romont (- Fribourg)	TPF
Bulle - Broc	TPF
Fribourg - Murten - Ins /- Kerzers	TPF
Ligne de substitution au CFEG (Chêne-Bougeries, Gare - Augustins)	TPG
Yverdon-les-Bains - Ste-Croix	TRAVYS
Orbe - Chavornay	TRAVYS
Le Pont - Le Brassus	TRAVYS
Les Brenets - Le Locle	TRN
Les Ponts-de-Martel - La Chaux-de-Fonds	TRN
5 Neuchâtel - Areuse - Boudry	TRN
Buttes - Fleurier - Travers (- Neuchâtel)	TRN
12 Zürich Flughafen - Glattbrugg - Wallisellen - Dübendorf - Stettbach	VBG
19 Liestal - Waldenburg	WB
S14 Aarau - Menziken	WSB
S4 Luzern - Stans - Wolfenschiessen	zb
Meiringen - Interlaken Ost	zb
S5 Luzern - Giswil	zb

 Quelle: <https://files.newsnetz.ch/upload/1/8/18770.pdf>