

Selbstfahrende Fahrzeuge im öffentliche Verkehr

Neue Geschäftsmodelle für die Bahn im ländlichen Raum?

Institut für Tourismuswirtschaft ITW
Prof. Dr. Widar von Arx
Dozent

widar.vonarx@hslu.ch

Zürich

01.11.2018

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

III kcw



FH Zentralschweiz

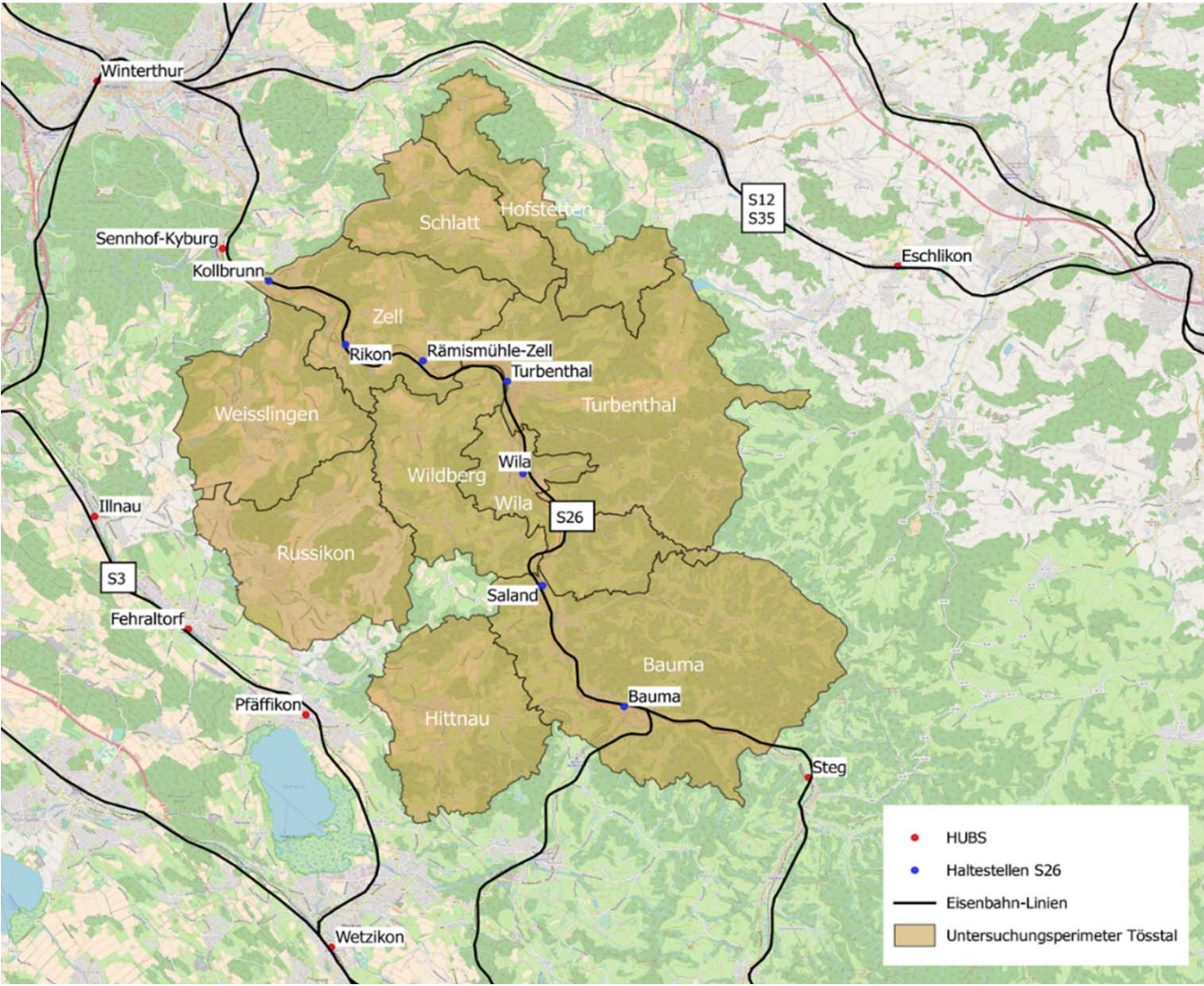


1. Forschungsfragen

1. Ist es möglich, die öffentlichen Verkehrsmittel (Busse und S-Bahn) im ländlichen Raum durch autonome Fahrzeuge zu ersetzen? Sind kostendeckende Konzepte möglich?
2. Wie viele Fahrzeuge wären für ein «SFF – öV Hub-Konzept» 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 eine Bahn in einer solchen Konstellation aus?

1. Hinweis zur Fallstudien-Region Tösstal

- Es existieren keinerlei Pläne, im Tösstal selbstfahrende Fahrzeuge im öV einzusetzen.
- Das Forschungsprojekt ist abstrakter Natur und will generelle Fragen des Zusammenspiels von SFF und der Bahn klären.
- Das Tösstal wurde nur aufgrund der guten Datenverfügbarkeit und des lokalen Wissens der Beteiligten ausgewählt.
- Kommerziell einsetzbare, selbstfahrende Robo-Vans sind erst in mehreren Jahren zu erwarten. Auch daher haben die Ergebnisse des Forschungsprojektes keinen Einfluss auf das öV-Angebot im Tösstal.



2. Methode(n): Untersuchungen anhand der Beispiel-Region Tösstal

3

- Erstellen von vier (teil-) automatisierten Angebotskonzepten (Varianten)

3

- Abschätzen von Nachfrage, Kosten und Erträgen

4

- Aufzeigen der Auswirkungen auf die S-Bahn und den Fernverkehr

4

- Bewertung unternehmerischer Potenziale, Risiken, Treiber und Hemmnisse

5

- Bewertung möglicher Geschäftsmodelle für eine Bahn

2. Methode

- Schritt 1: Erstellen von vier Angebotskonzepten mit Umsteigehubs
- Schritt 2: Abschätzung Nachfrage, Kosten und Erträge
 - öV Nachfrage (ZVV, 2013) am Wochentag (Durchschnitt und Abendspitze) als Grundlage
 - Umlegen der Nachfrage mittels Quell- Zielmatrizen auf Basis Züricher Gesamtverkehrsmodell
 - Personenfahrten nach ausserhalb Tösstal Hub zugeordnet
 - Veränderungen der Nachfrage durch Varianten auf Basis Elastizitäten (Takt, Fahrzeit, Umsteigevorgänge)
 - Erlöse und Kosten der öV Angebot auf Basis ZVV Zahlen
 - Kostensätze automatisierte Transportmittel auf Basis von Bösch, Axhausen (2016)
 - Preise für öV-Angebot wurde stabil gehalten
- Schritt 3: Auswirkungen auf die S-Bahn und den Fernverkehr
- Schritt 4: SWOT-Analyse der vier Varianten
- Schritt 5: Identifikation und Bewertung von Geschäftsmodellen einer Bahn

3. Effizienteres Angebot durch Automatisierung



1. Selbstfahrender Bahn- und Busbetrieb



2. Selbstfahrender Busbetrieb ohne Bahnangebot



3. Selbstfahrende Robovans ersetzen Bahn und Bus

Folie 7, 01.11.2018

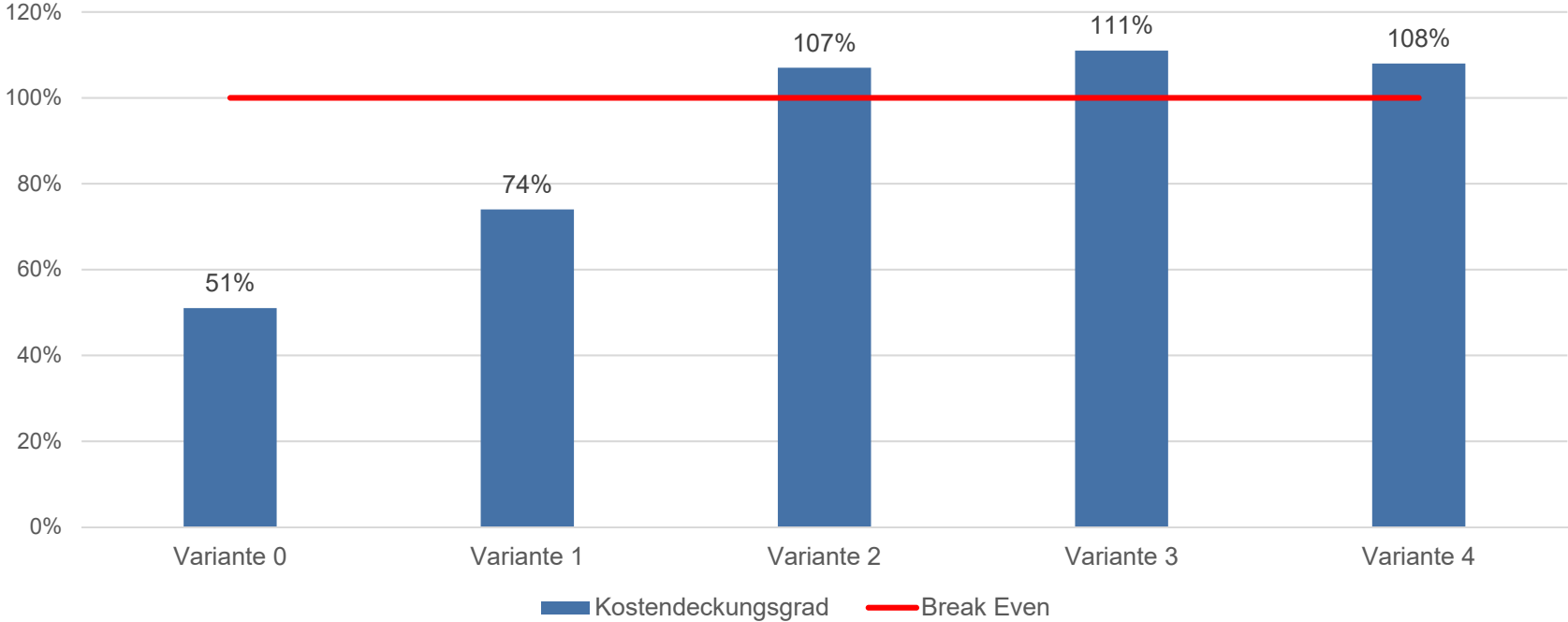


4. Selbstfahrende Robovans ersetzen Bus und S26 fährt autonom

3. Effizienteres Angebot durch Automatisierung

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: 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: 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 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+/-

3. Kostendeckendes Angebot durch Automatisierung?



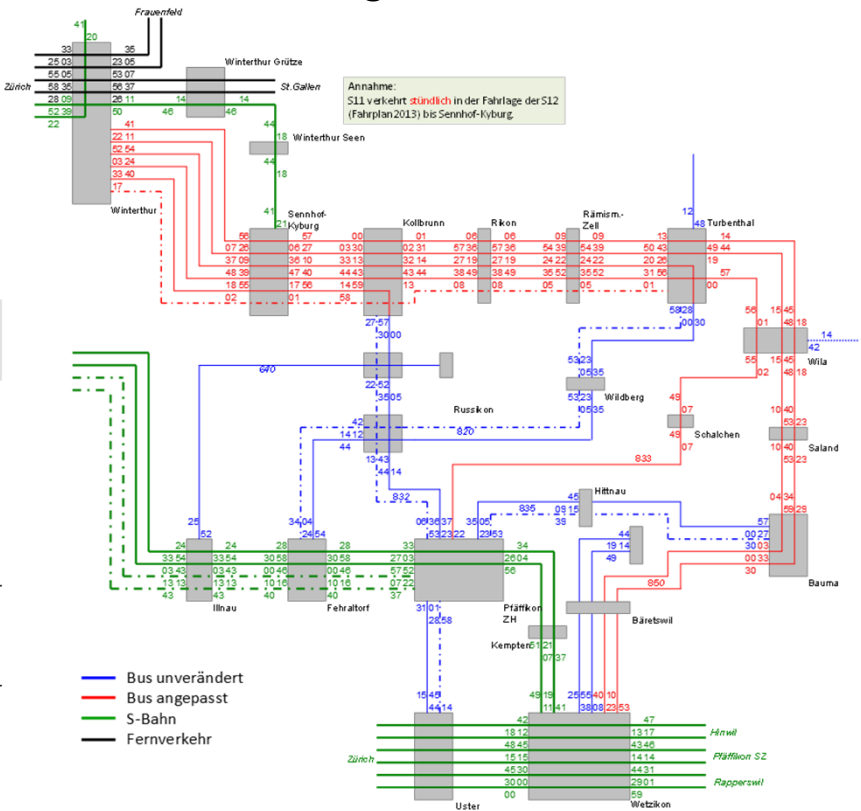
3. Effizienteres Angebot durch Automatisierung

Faktor	V0	V1	V2	V3	V4
Nachfrage Personenfahrten pro durchschnittlichem Wochentag	8'817	8'817	8'988	11'678	9'181*
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%

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

3. Resultate - Variante 2: Selbstfahrender Busbetrieb ohne Bahnangebot

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%



3. Resultate - Variante 3: Selbstfahrende Robovans ersetzen Bahn und Bus

Tabelle 8: Kosten und Erträge der Variante 3

	V3
<i>Fahrzeug-km (Robovan)</i>	16'394'761
<i>Zug-km Bahn (S26)¹⁹</i>	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%

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

3. Resultate - Variante 4: Selbstfahrende Robovans & automatisierte S26

Tabelle 10: Kosten und Erträge der Variante 4

	V4
<i>Fahrzeug-km (Robovan)</i>	9'727'467
<i>Zug-km Bahn (S26)²³</i>	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%

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

3. Wie viele Fahrzeuge wären für Variante 3 oder Variante 4 notwendig?

Flottengrösse:

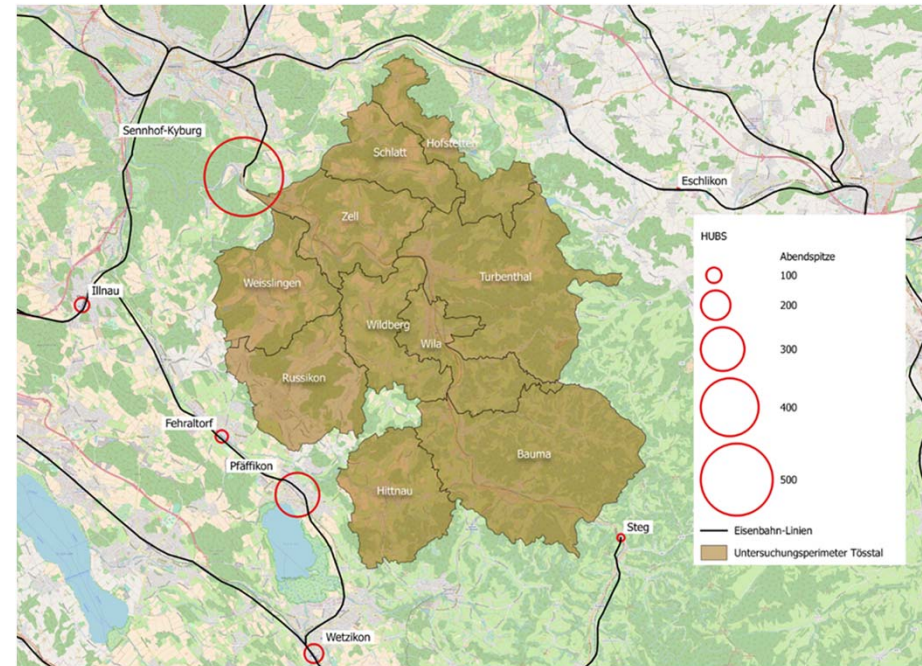
- **Variante 3:** Die Fahrzeugflotte müsste unter den gewählten Annahmen über **170 Fahrzeuge** umfassen, was einem Investitionsvolumen von **rund 17 Millionen** entspricht.
- Für die Spitzenstunden muss die Fahrzeugflotte rund **75%** grösser dimensioniert sein als in einer durchschnittlichen Stunde (dann ca. 100 Fahrzeuge).
- **Variante 4:** Durch die Kombination mit der S-Bahn reduziert sich die Flottengrösse auf **111 Fahrzeuge** in der ASP und für durchschnittliche Stunde auf 63 Fahrzeuge
- Die notwendige Flottengrösse hängt direkt mit dem Takt des angrenzenden ÖV-Angebotes zusammen.
- Relevante Annahmen: Auslastung der Robovans: 2.5 (Bösch et. al, 2016) / Produktivität der Fahrzeuge: 60 Prozent

3. Gibt es genügend Strassenkapazitäten für den Zugang autonomer Fahrzeuge zu den Umsteigehubs für S-Bahn und Fernverkehr?

Variante 3: Anzahl Umsteigevorgänge in der ASP und Anzahl notwendige Robo-Taxis

Tabelle 11: 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) ²¹	102	7	8	16	7	7	1
Fahrzeuge pro S-Bahn (1/4-Takt) ²²	63	4	5	8	3	4	0



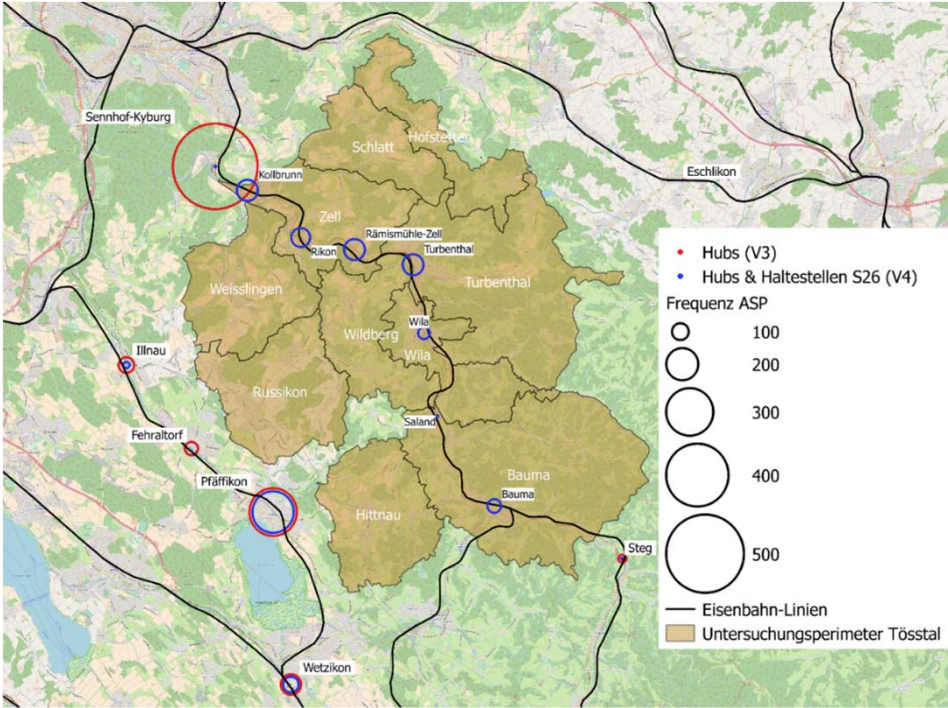
3. Gibt es genügend Strassenkapazitäten für den Zugang autonomer Fahrzeuge zu den Umsteigehubs für S-Bahn und Fernverkehr?

Variante 4: Anzahl Umsteigevorgänge in der ASP und Anzahl notwendige Robo-Taxis

Tabelle 14 Anzahl Fahrgäste am Hub in der Abendspitzenstunde bei 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



4. Forschungsbedarf

- Braucht es für Robo-Taxis eine Konzession? Welche Verpflichtungen müssen Betreiber einhalten? Werden SFF in den DV einbezogen?
- Wie wäre eine Flotte sinnvollerweise strukturiert: Homogen mit 4- bzw. 8 Plätzen, oder würde sich ein Mischbetrieb lohnen (zur HVZ Busse statt 8Plätze auch bis Winterthur)?
- Welche durchschnittlichen Auslastungen sind in ländlichen Räumen in der Praxis zu erreichen?
- Wie sinnvoll sind Haltestellen noch? Lohnt sich der Betrieb von Haltestellen nur in der HVZ?
- 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?

5. Hauptkenntnisse der Studie

1. **Kostenreduktion:** Die automatisierungsbedingte Kostenreduktion wirkt sich beim Bus (-50%) viel stärker aus als bei der Bahn (-15%). Weil Robovans und Robotaxis sowohl alleine als auch geteilt sehr kostengünstig fahren, werden reine Taxiangebote zu tiefen Preisen möglich.
2. **Kostendeckungsgrad:** Mit der Automatisierung verbundene Effekte führen zu einem höheren und von Variante zu Variante steigenden Kostendeckungsgrad auch bei traditionelleren öV-Angebotsformen.
3. **Regulierungskontext:** Der Regulierungskontext (Rechte und Pflichten von SFF / Schutz vor Wettbewerb etc.) hat einen grossen Einfluss auf die Realisierungsfähigkeit z.B. der Variante 4.
4. **Flottengrösse:** über 170 Fahrzeuge notwendig, 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).

5. Hauptkenntnisse der Studie

5. **Mischformen:** In Gebieten mit schwacher, dispers verteilter 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.
6. **Flottenstruktur:** Neben SF Kleinbussen sind 5-Plätzer deutlich kostengünstiger und in Bezug auf die Besetzung oft ausreichend. Nachteil könnte die fehlende soziale Kontrolle sein.
5. **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).

6. Hauptkenntnisse der Studie

6. **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.
7. **Koordination mit Fernverkehr:** Die Möglichkeit, zu irgendeinem Zeitpunkt, on demand ein Robotaxi zu bestellen, nützt primär Reisenden im Binnenverkehr. Ansonsten muss auch der Takt des Bahn-Kernnetzes erhöht werden.