

Endbericht

**Studie zur Integration eines autonomen
Ridesharingangebots in den ÖV
im peri-urbanen Raum der Region Stuttgart
Im Rahmen des EU-Förderprojekts "Dynaxibility4CE"**

Juni 2021

Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

Dynaxibility4CE

Gefördert durch das „Bundesprogramm Transnationale Zusammenarbeit“ des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat

Auftraggeber



*Verband Region
Stuttgart*



Universität Stuttgart

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

Dokument-Informationen

Auftraggeber:	Verband Region Stuttgart
Auftragnehmer:	Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik
Bearbeitende:	Dipl.-Ing. Emely Richter M.Sc. Kea Seelhorst Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich
Version:	V03
Datum:	21.06.2021
Speicherort:	S:\Forschung\Region_Stuttgart\Ridesharing_SW\05_Texte\Endbericht__Abgabe_RidesharingImSchurwald\Endbericht\RidesharingImSchurwald_Endbericht_VRS_V03.docx
Kartengrundlagen	<ul style="list-style-type: none">• Alle Hintergrundkarten stammen aus Open Street Map und stehen unter der Open Data Commons Open Database Lizenz (ODbL).• Die Kartendarstellungen wurden mit dem Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart erstellt.

Inhalt

1	Ausgangslage und Problemstellung	5
1.1	Ausgangssituation	5
1.2	Aufgabenstellung	5
2	Datengrundlage und Szenarien	6
2.1	Planungsraum und Verkehrsnachfrage	6
2.2	Szenarien	7
3	Anpassung des Verkehrsnachfragemodells	8
3.1	Feinere Differenzierung der Verkehrsnachfrage	8
3.2	Räumliche Definition der ÖV-Angebotsform	9
3.3	Angebot des fahrplangebundenen ÖV	10
3.4	Umstiegshaltestellen für Ridesharing als Zubringer	12
3.5	Ridesharing-Haltepunkte	13
3.6	Sonstige betriebliche Merkmale des Ridesharingangebots	13
4	Verkehrliche Wirkungen	14
4.1	Moduswahl	14
4.2	Verkehrsmittelwahl im ÖV	19
4.3	Fahrleistung und Verkehrsstärken	19
4.4	Ridesharing-spezifische Kenngrößen	21
4.5	ÖV-Angebotsänderungen ausgewählter Relationen	24
5	Betrieblicher Aufwand und Emissionsbetrachtung	27
5.1	Betriebliche Kenngrößen	27
5.2	Kostenbetrachtung	30
5.3	Emissionen und Energieaufwand	32
6	Zusammenfassung und Fazit	36
7	Literaturverzeichnis	40
8	Anhang	42

8.1	Ergänzende Grafiken zu Anpassung des Verkehrsnachfragemodells	42
8.1.1	Angebot des fahrplangebundenen ÖV	42
8.1.2	Ridesharing-Haltepunkte	43
8.2	Ergänzende Grafiken zu Verkehrliche Wirkungen	45
8.2.1	Moduswahl	45
8.2.2	Verkehrsmittelwahl im ÖV	46
8.2.3	Fahrleistung und Verkehrsstärken	49
8.2.4	ÖV-Angebotsänderungen ausgewählter Relationen	51
8.3	Ergänzende Grafiken zu Betrieblicher Aufwand und Emissionsbetrachtung	52
8.3.1	Kostenbetrachtung	53
8.3.2	Emissionen und Energieaufwand	55

1 Ausgangslage und Problemstellung

1.1 Ausgangssituation

In ländlichen und peri-urbanen Räumen mit geringer und wenig gebündelter Nachfrage ist es mit linien- und fahrplangebundenen Angeboten des öffentlichen Verkehrs (ÖV) schwer, ein qualitativ hochwertiges Angebot bereitzustellen. Der ÖV ist Bestandteil der Daseinsvorsorge, kann in diesen Räumen jedoch nicht mit dem Pkw konkurrieren, da hier - anders als in städtischen Gebieten - kaum Verlustzeiten durch Überlastungen auftreten. Die ÖV-Fahrzeuge sind nach einer Angebotsverbesserung häufig nicht ausgelastet und die Betriebskosten übersteigen die Erlöse deutlich. Eine mögliche Lösung besteht in bedarfsorientierten ÖV-Angeboten. Bedarfsorientierte Angebote werden in Deutschland als Rufbusse oder als Anrufsammeltaxis seit vielen Jahren eingesetzt. Sie können wirtschaftlicher als ein Linienbetrieb mit Standardbussen sein. Da die Zahl der Fahrgäste pro Fahrzeug und Fahrplanfahrt klein ist, weisen auch bedarfsorientierte ÖV-Angebote einen niedrigen Kostendeckungsgrad auf. Außerdem sind in ländlichen Räumen die Nachfragespitzen aufgrund des hohen Schulverkehrsanteils besonders ausgeprägt. Der regelmäßige Berufs- und Schulverkehr ist für bedarfsorientierte Angebote wenig geeignet.

Neue App-basierte Buchungssysteme und die langfristige Perspektive fahrerloser Fahrzeuge können bisherige Unzulänglichkeiten bedarfsorientierter ÖV-Angebote reduzieren. Ein in den ÖV integriertes Ridesharing (RS) mit autonom fahrenden Fahrzeugen kann hierfür ein möglicher Ansatz sein. Daraus ergeben sich zwei grundsätzliche Fragestellungen:

- Wie groß ist das Nachfragepotenzial für ein derartiges Angebot, das die peri-urbane Bevölkerung besser an den ÖV anbindet?
- Kann damit im peri-urbanen Raum eine kostengünstigere und umweltfreundlichere Beförderung als mit dem gegenwärtigen Busverkehr erzielt werden?

1.2 Aufgabenstellung

Ziel der Untersuchung ist es, beispielhaft für den Schurwald, einem peri-urbanen Teilraum der Region Stuttgart, die Wirkungen eines integrierten Ridesharingangebots abzuschätzen, das mit On-Demand-Shuttles den Schurwald an die benachbarten zentralen Orte anbindet und als Zubringer für den Schienenpersonenverkehr dient. Um die Wirkungen auf die Verkehrsnachfrage und auf den betrieblichen Aufwand zu ermitteln, sollen mit dem Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart Kenngrößen der Verkehrsnachfrage (Personenkilometer je Modus, Modal-Split-Anteile) und des ÖV-Angebots (Fahrzeugzahl, Fahrzeugkilometer, Betriebskosten, Energieverbrauch, CO₂-Emissionen) für verschiedene Szenarien berechnet und verglichen werden.

2 Datengrundlage und Szenarien

2.1 Planungsraum und Verkehrsnachfrage

Bild 1 zeigt den Planungsraum. Der Planungsraum umfasst alle Orte des Schurwaldes, die nicht an eine S-Bahnhaltestelle oder eine Regionalbahnhaltestelle angebunden sind. In diesem Raum leben etwa 50.000 Einwohner. Der Busverkehr umfasst rund 25 Linien mit knapp 1.500 täglichen Fahrplanfahrten, die mindestens eine Haltestelle im Planungsraum bedienen.

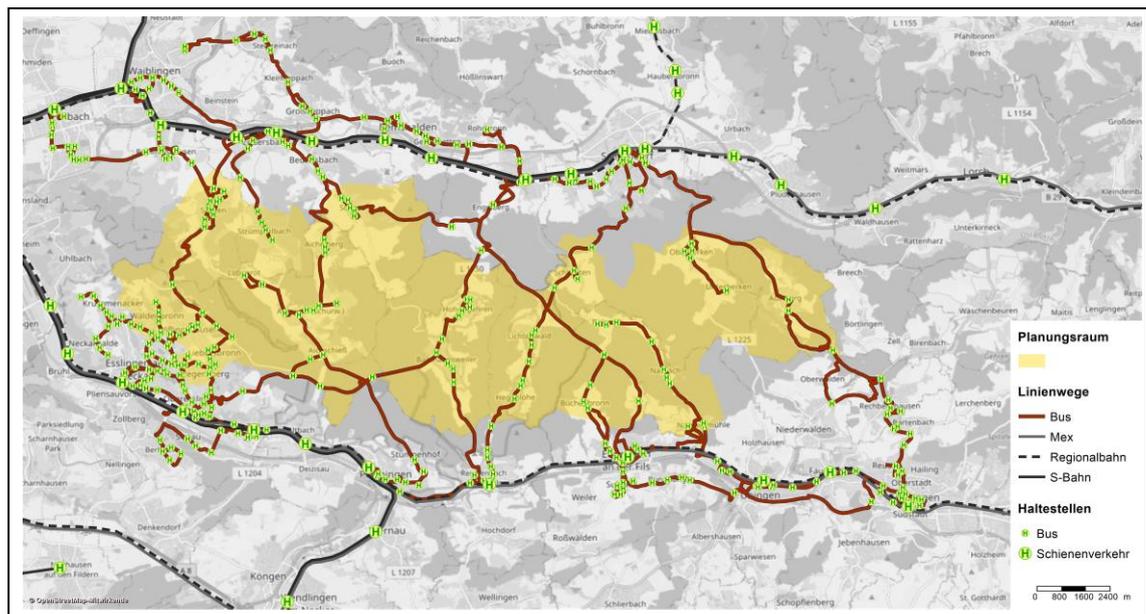


Bild 1: Planungsraum Schurwald mit den Bus-Linienwegen im Analysezustand.

Das Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart bildet die 24 Stunden eines durchschnittlichen Werktags ab und weist für den Planungsraum für das Jahr 2030 etwa 15.000 ÖV-Wege mit Quelle oder Ziel im Planungsraum aus. Das entspricht einem ÖV-Anteil von rund 10 Prozent der Wege. In Bild 2 sind die Verkehrsstärken dieser ÖV-Wege dargestellt. 90 Prozent dieser Wege verlassen den Planungsraum, die Hälfte steigt in die S-Bahn um.

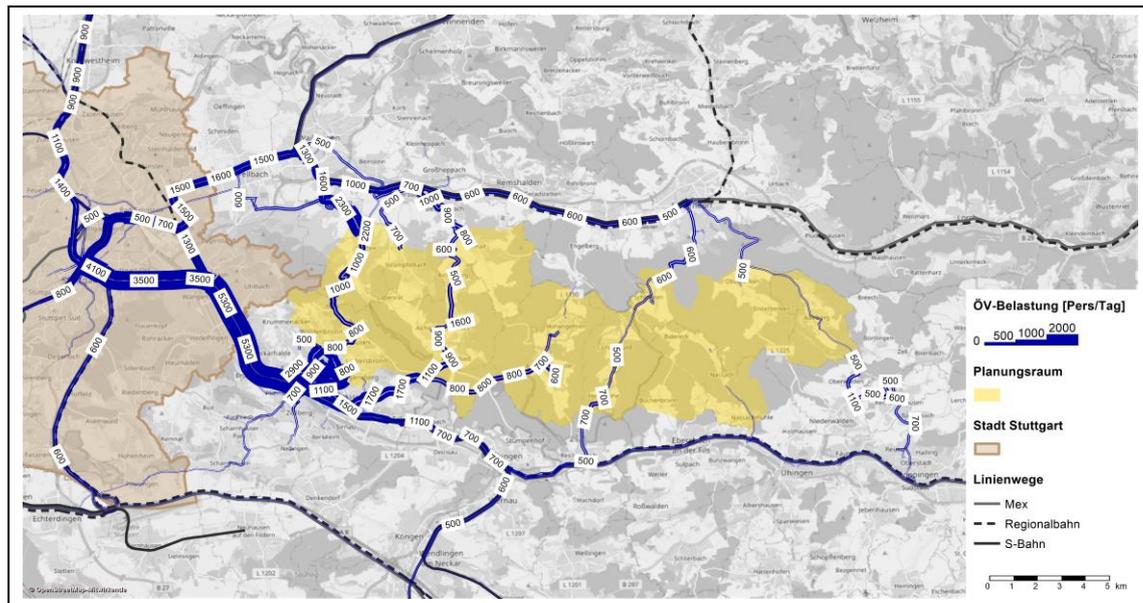


Bild 2: Planungsraum Schurwald mit der für 2030 prognostizierten ÖV-Nachfrage. Dargestellt sind Wege mit Quelle oder Ziel im Planungsraum (Quelle: Verkehrsnachfragemodell Region Stuttgart).

2.2 Szenarien

Grundlage für die Untersuchung ist das Jahr 2030, wie im Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart abgebildet. In der Untersuchung werden die Wirkungen der folgenden Zustände als Szenarien analysiert:

- Szenario S00 – Bezugsfall: Busangebot wie heute.
- Szenario S01 – Ridesharing 15' mit Haltestellen: Das Busangebot ausgewählter Buslinien wird komplett durch kleine, potenziell autonom fahrende On-Demand-Fahrzeuge im Flächenbetrieb ersetzt. Der Zu- und Ausstieg erfolgt an Bushaltestellen wie heute. Vorgabe einer Mindestbedienungshäufigkeit von 4 Angeboten pro Stunde.
- Szenario S02 – Ridesharing 15' bis zur Haustür: Wie S01, aber die Fahrgäste werden an beliebigen Orten im Untersuchungsraum, etwa direkt vor der Haustür, abgeholt bzw. dorthin gebracht. Dadurch reduziert sich die Zugangszeit der Fahrgäste. Die Fahrtzeit der Fahrgäste kann sich durch zusätzliche Umwegfahrten erhöhen.
- Szenario S03 – Bus 15' + Ridesharing 30' mit Haltestellen: Kombination von großen fahrplangebundenen Bussen im 15-Minuten-Takt und kleinen On-Demand-Fahrzeugen im 30-Minuten-Takt. Vorgabe einer Mindestbedienungshäufigkeit im Ridesharing von zwei Angeboten pro Stunde, der Zu- und Ausstieg erfolgt an Bushaltestellen.

Eine Ridesharing-Beförderung erfolgt zum ÖV-Fahrpreis. Die On-Demand-Shuttles erreichen dieselbe Fahrgeschwindigkeit wie herkömmliche Pkw, Zeitverluste ergeben sich jedoch durch Halte und Umwegfahrten.

3 Anpassung des Verkehrsnachfragemodells

Grundlage der Untersuchung ist das Verkehrsnachfragemodell der Region Stuttgart mit dem Prognosejahr 2030. Für die Berechnung der Szenarien sind Modellanpassungen erforderlich. Tabelle 1 und Tabelle 2 fassen wesentliche Anpassungen zusammen.

	Szenario	Zellen: Anzahl	Zeitintervalle in ÖV-Umlegung
S00*	VRS 2030	1.306	3 (mHVZ, aHVZ, NVZ)
S00	Bezugsfall	1.589	96 x 15 min
S01	RS 15' mit Haltestellen		
S02	RS 15' bis zur Haustür		
S03	Bus + RS 30' mit Haltestellen		

Tabelle 1: Übersicht zur Anpassung des Verkehrsnachfragemodells: Gesamtmodell.

	Szenario	Zellen: Anzahl	Zellen: Ausdehnung	Fahrplanfahrten Bus (ca.)	Ridesharing Wartezeit	Zugangsweite RS (Luftlinie)
S00*	VRS 2030	18	≤ 13 km ²	1.500 Fahrten 15.500 km	-	Bus: ≤ 3,0 km
S00	Bezugsfall	301	≤ 300m x 300m	wie S00*	-	Bus: ≤ 1,7 km
S01	RS 15' mit Haltestellen			900 Fahrten 7.000 km	< 15 min	≤ 0,5 km
S02	RS 15' bis zur Haustür			wie S01	< 15 min	≤ 0,15 km
S03	Bus + RS 30' mit Haltestellen			S01 + 3 Bus-Linien 15'	< 30min	≤ 0,5 km

Tabelle 2: Übersicht zur Anpassung des Verkehrsnachfragemodells: Planungsraum.

3.1 Feinere Differenzierung der Verkehrsnachfrage

Um die in den Szenarien S01 bis S03 berechneten Nachfragewirkungen des Ridesharingangebots möglichst gut abbilden zu können, wird die Nachfrage des zu Grunde liegenden Verkehrsnachfragemodells der Region Stuttgart (als S00* bezeichnet) im Planungsraum feiner differenziert.

Der so entstehende Bezugsfall S00 grenzt sich durch die folgenden Änderungen von S00* ab:

- Räumlich feiner differenzierte Nachfrage im Planungsraum: Die Verkehrszellenanzahl erhöht sich von 18 auf 301 Verkehrszellen. Die maximale Zellengröße beträgt in S00 300 m x 300 m. Als Grundlage zur feineren Aufrasterung der Verkehrszellen dient das 100 m x 100 m Rasterzellennetz des Mikrozensus 2011 inklusive Einwohnerzähl-daten [18]. Strukturdaten der S00*-Verkehrszellen wie Einwohner je Personengruppe, Arbeitsplätze, Schulplätze, Einkaufsfläche, etc. werden entsprechend den kleineren S00-Verkehrszellen disaggregiert. Anbindungen für IV und ÖV werden erstellt.
- Zeitlich feiner differenzierte Nachfrage im ÖV: Um die betrieblichen Prozesse des Ridesharing (Bündelung von Personenfahrten, Umlaufbildung der Fahrzeuge) abzubilden wird eine feinere zeitliche Differenzierung der ÖV-Nachfrage benötigt. Die ÖV-Nachfrage wird in 96 15 min-Zeitintervalle aufgeteilt.

3.2 Räumliche Definition der ÖV-Angebotsform

Wird Ridesharing in den ÖV integriert, können grundsätzlich drei Angebotsformen unterschieden werden:

- Fahrplangebundener ÖV: Den Fahrgästen wird weiterhin ein traditionelles Angebot aus Bussen und/oder schienengebundenen Verkehrsmitteln zu Verfügung gestellt, das nach einem festen Fahrplan verkehrt.
- Direktes Ridesharing: Den Fahrgästen wird eine direkte Ridesharingfahrt angeboten. Dabei ist Ridesharing das einzige genutzte Verkehrsmittel auf ihrem Weg, ein Umstieg ist nicht erforderlich.
- Ridesharing als Zubringer: Ridesharing wird als Zubringer zum fahrplangebundenen ÖV angeboten. Fahrgäste, die diese Angebotsform nutzen, werden beispielsweise von einem Ridesharingfahrzeug zur nächstgelegenen S-Bahn-Haltestelle gefahren, um dort in die S-Bahn umzusteigen. Bei dieser Angebotsform ist stets mindestens ein Umstieg erforderlich.

Um festzulegen, welche der oben genannten Angebotsformen bereitgestellt werden, werden relationsfein, d.h. auf Quell- und Ziel-Verkehrszelle eines Weges beruhend, drei Fälle unterschieden:

- Fall 1: Beide Verkehrszellen sind an eine vom fahrplangebundenen ÖV bediente Haltestelle angebunden. Angebotsform: Fahrplangebundener ÖV.
- Fall 2: Beide Verkehrszellen liegen im Planungsraum (Binnenverkehr Planungsraum). Entweder hat mindestens eine der Verkehrszellen keine bediente Haltestelle oder bei Nutzung des liniengebundenen ÖV ist ein Umstieg erforderlich. Angebotsform: Direktes Ridesharing.

- Fall 3: Quell- oder Zielverkehr des Planungsraums und die Verkehrszelle im Planungsraum hat keine bediente Haltestelle. Angebotsform: Ridesharing als Zubringer zum schienengebundenen ÖV.

Eine Ausnahme zu Fall 3 stellen Fahrten vom Planungsraum in die an den Planungsraum angrenzenden Verkehrszellen (siehe Bild 3) dar: Liegt die Luftlinienweite der Relation bei bis zu 15 km, wird direktes Ridesharing angeboten. Bei längeren Luftlinienweiten, wird Ridesharing als Zubringer angeboten. Die Begrenzung der Luftlinienweite wird eingeführt, um zu große Änderungen in der Zielwahl zu vermeiden.

Eine zeitliche Differenzierung der relationsfein definierten Angebotsform erfolgt nicht. Die getroffene Zuordnung gilt also ganztäglich.

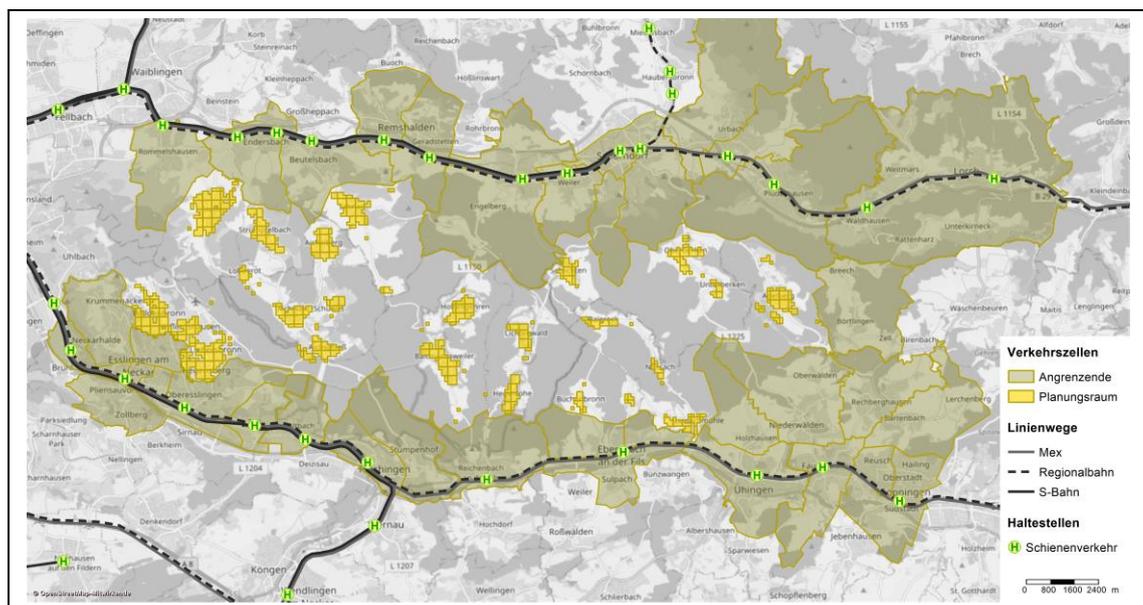


Bild 3: Verkehrszellen des Planungsraums und angrenzende Verkehrszellen.

3.3 Angebot des fahrplangebundenen ÖV

In den berechneten Szenarien wird das bestehende Busangebot im Planungsraum teilweise durch Ridesharing ersetzt. Das Busangebot lässt sich in drei Gruppen unterteilen:

- S00 – Bezugsfall: Busangebot entsprechend S00* (siehe Bild 24 im Anhang).
- S01/S02 – Ridesharing ohne Bus: Bis auf Buslinien, die überwiegend außerhalb des Planungsraums zum Einsatz kommen, werden alle in S00 vorhandenen Buslinien durch Ridesharing ersetzt. Dadurch können die Verkehrszellen des Planungsraums entsprechend Bild 4 in zwei Kategorien unterteilt werden. Blau dargestellt sind die Verkehrszellen, in denen Ridesharing den Bus als Zubringer zum schienengebundenen ÖV ersetzt. In den gelb dargestellten Zellen erfolgt die Erschließung weiter mit dem Bus.

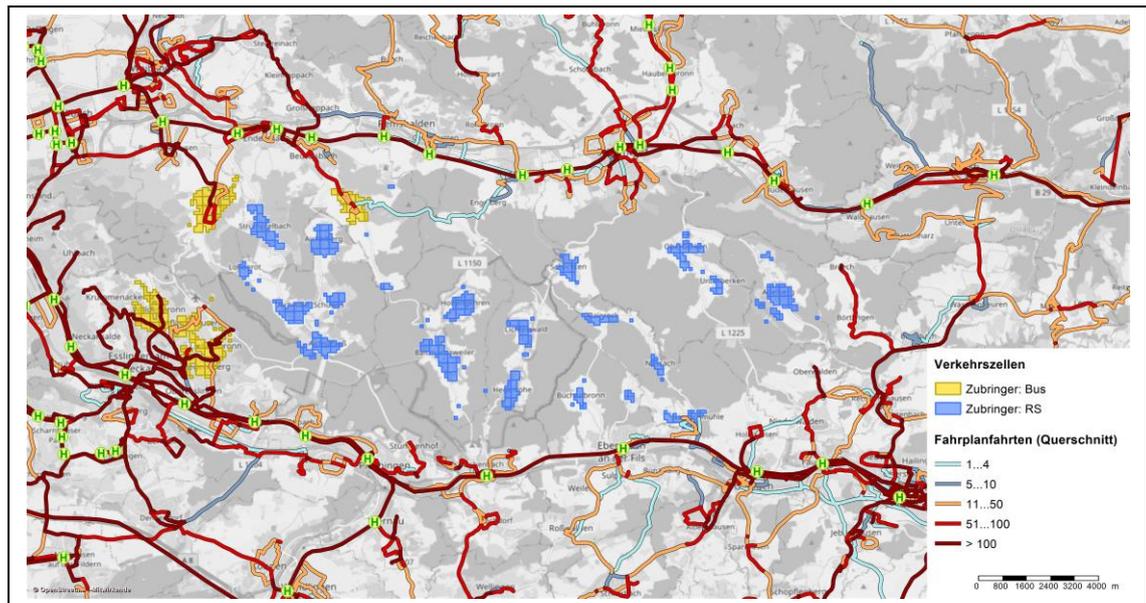


Bild 4: Angebot des fahrplangebundenen ÖV in den Szenarien S01 und S02.

- S03 – Ridesharing mit Bus: In diesem Szenario wird das Angebot aus S01/S02 durch drei zusätzliche Buslinien ergänzt, die zwischen 05:00 Uhr und 24:00 Uhr im 15 Minuten-Takt fahren. Die drei Buslinien, die durch diese bedienten Verkehrszellen im Planungsraum und die 68 zusätzlich zu S01/S02 bedienten Haltestellen sind Bild 5 zu entnehmen. Eine Übersicht über das gesamte Angebot des fahrplangebundenen ÖV findet sich im Anhang, Bild 25.



Bild 5: Ergänzend zu S01/S02 angebotene Buslinien in Szenario S03.

3.4 Umstiegshaltestellen für Ridesharing als Zubringer

Um einen möglichst hohen Besetzungsgrad bei Ridesharingfahrten zu erreichen, werden die bedienten Ridesharing-Umstiegshaltestellen je Verkehrszelle gesetzt. Je Verkehrszelle im Planungsraum wird eine Verbindung zu einer nördlich gelegenen und einer südlich gelegenen Haltestelle des Schienenverkehrs angeboten. Es werden Haltestellen bevorzugt, die eine gute Anbindung Richtung Stuttgart ermöglichen, da dies entsprechend S00* die am meisten nachgefragte Richtung ist (vergleiche Bild 2).

Die resultierenden Ridesharing-Zubringer-Verbindungen für S01/S02 sind in Bild 6 dargestellt. Bild 7 zeigt die entsprechenden Verbindungen für S03.

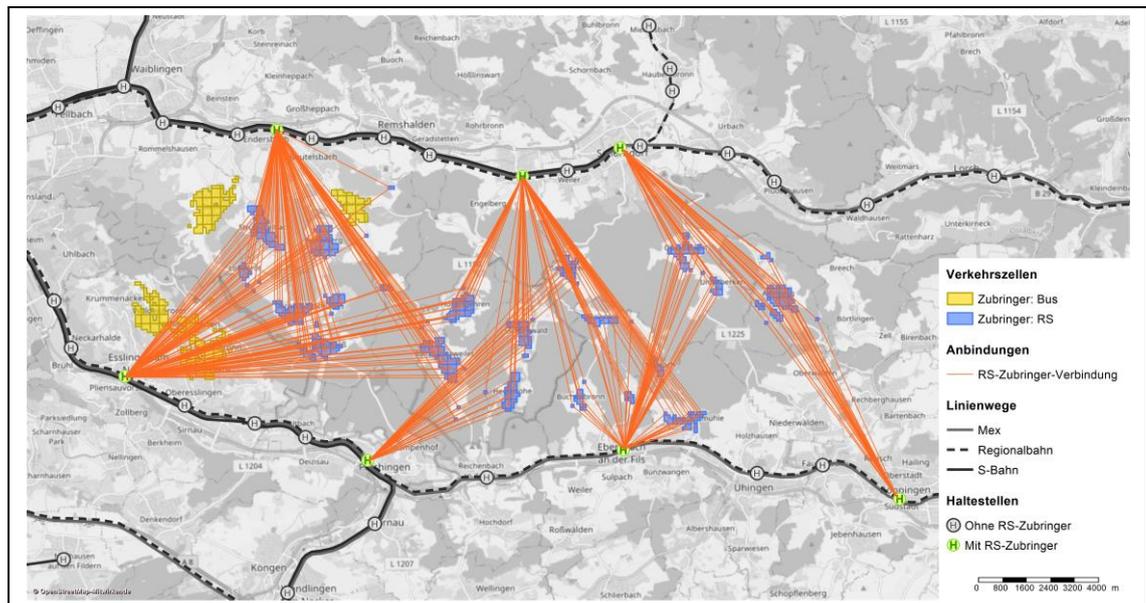


Bild 6: Ridesharing-Zubringer-Verbindungen für Szenarien S01/S02.

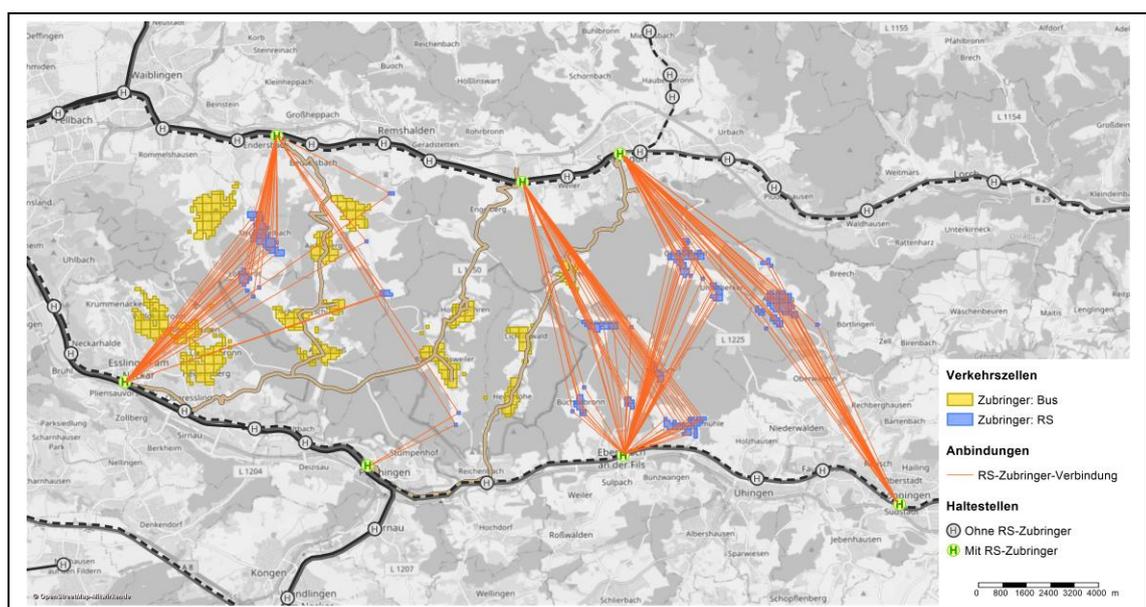


Bild 7: Ridesharing-Zubringer-Verbindungen für Szenario S03.

3.5 Ridesharing-Haltepunkte

Ridesharing-Haltepunkte beschreiben den Ort, an dem Fahrgäste einem Ridesharing-fahrzeug zusteigen können bzw. an dem sie aussteigen können. Die betrachteten Ridesharing-Szenarien S01 bis S03 lassen sich in zwei Gruppen aufteilen:

- S01/S03 – Ridesharing mit Haltestellen: Falls möglich, werden in S00* bestehende Bushaltestellen als Ridesharing-Haltepunkte genutzt, jedoch nur bis zu einer maximalen Zu- bzw. Abgangsweite von 500 m Luftlinie. Ist diese überschritten, wird die dem Zellschwerpunkt nächstgelegene Straßenkreuzung als Haltepunkt gewählt.
- S02 – Ridesharing bis zur Haustür: Wie S01/S03. Als maximale Luftlinienweite werden 150 m akzeptiert.

Eine Übersicht der entsprechenden Kenngrößen bietet Tabelle 3. Kartendarstellungen finden sich im Anhang, Bild 26, Bild 27 und Bild 28.

	Szenario	Max. Zu-/Abgangsweite Ridesharing (Luftlinie)	Anzahl Ridesharing-Haltepunkte	Ø Zu-/Abgangszeit im ÖV je Verkehrszelle im Planungsraum
S00	Bezugsfall	-	-	8,0 min
S01	RS 15' mit Haltestellen	500 m	126	5,7 min
S02	RS 15' bis zur Haustür	150 m	277	2,8 min
S03	Bus + RS 30' mit Haltestellen	500 m	126 (+ 74 Bus-Hst.)	5,8 min

Tabelle 3: Kenngrößen zu Ridesharing-Haltepunkten.

3.6 Sonstige betriebliche Merkmale des Ridesharingangebots

Zusätzlich zu den bereits genannten Festlegungen gibt es folgende weitere Eingangsparameter, die die betriebliche Umsetzung des Ridesharingangebots definieren:

- Fahrzeugkapazität: 6 Fahrgäste.
- Maximal in Kauf genommener Umweg (zeitlich) für die Mitnahme zusätzlicher Fahrgäste: 10 min werden immer akzeptiert. Bei größerem absolutem Umweg wird ein Umwegfaktor bis 2,0 akzeptiert (Fahrzeit ist maximal doppelt so lang wie bei einer direkten Fahrt). Werden diese Grenzen überschritten, werden die entsprechenden Personen nicht im gleichen Fahrzeug befördert. Jeder Fahrgast wird befördert.
- Umsteigewartezeit und -gezeit für den Umstieg zwischen Ridesharing und schienengebundenem Verkehrsmittel: 5 min Wartezeit plus 3 min Gehzeit.

4 Verkehrliche Wirkungen

4.1 Moduswahl

Kenngrößen

Die Wirkungen der Moduswahl werden anhand von zwei Kenngrößen dargestellt:

- Verkehrsaufkommen: Zahl der Personenwege, d.h. Summe aller durchgeführten Ortsveränderungen.
- Verkehrsleistung: Personenkilometer als Summe der Wegelängen aller durchgeführten Ortsveränderungen. Als Weglänge wird die Luftlinienentfernung herangezogen. Dadurch wird sichergestellt, dass eventuelle Umwegigkeiten im ÖV nicht als vermeintliche Nachfragegewinne gewertet werden.

Aus diesen Kenngrößen kann dann ein wegebezogener und ein verkehrsleistungsbezogener Modal-Split-Anteil berechnet werden. Diese Werte werden im Folgenden differenziert nach den Quellen und Zielen der Wege ausgewertet:

- Binnenverkehr der Region Stuttgart: Betrachtet werden alle Wege mit Quelle und Ziel in der Region.
- Quell-, Ziel-, und Binnenverkehr des Planungsraums: Betrachtet werden alle Wege, deren Quelle oder Ziel oder beides im Planungsraum liegen.
- Binnenverkehr des Planungsraums: Betrachtet werden alle Wege mit Quelle und Ziel im Planungsraum.
- Bedientyp: Die Wege werden differenziert nach dem Typ der ÖV-Bedienung (liniengebundener ÖV, Ridesharing direkt, Ridesharing Zubringer) ausgewertet.

Moduswahl für den Binnenverkehr der Region Stuttgart (Bild 29)

Da der Schurwald als Planungsraum nur einen sehr kleinen Teil der Region Stuttgart ausmacht, lassen sich in den Szenarien in Bezug auf den Binnenverkehr der gesamten Region nur geringe Veränderungen im Nachkommabereich der Modal-Split-Werte feststellen (vgl. Bild 29 im Anhang). Die Zahl der durchgeführten Wege bleibt unverändert. Da das ÖV-Verkehrsangebot durch das Ridesharingangebot besser wird, steigen die Personenkilometer im ÖV zwischen 0,9 Prozent im Szenario S02 und 0,5 Prozent im Szenario S01. Die Pkw-Fahrleistung sinkt um 0,1 Prozent bis 0,2 Prozent.

Moduswahl für den Quell-, Ziel-, und Binnenverkehr des Planungsraums (Bild 8)

Die Verbesserung des Verkehrsangebots im Planungsraum durch Ridesharing wirkt sowohl auf die Zielwahl, als auch auf die Moduswahl. Die Menschen mit Ridesharingangeboten können Aktivitätenorte besser erreichen. Das verändert die Zielwahl und erhöht die mittlere Reiseweite in S01 um 4 Prozent, in S02 um 5 Prozent und in S03 um 3 Prozent.

Gleichzeitig lässt sich eine deutliche Zunahme des ÖV-Anteils erkennen. Der ÖV-Anteil steigt in Bezug auf die Personenwege von 9 Prozent in S00 auf 15 Prozent in S01. Aufgrund der kürzeren Zu- und Abgangsweiten zum Ridesharing ist der ÖV in S02 nochmals attraktiver und erreicht einen Anteil von etwa 17 Prozent. Der ÖV-Anteil in S03 liegt bei 13 Prozent. Bezogen auf die Verkehrsleistung steigt der ÖV-Anteil von 12 Prozent in S00 auf 20 Prozent in S01, auf 22 Prozent in S02 und auf 18 Prozent in S03. In allen anderen Modi gehen die Anteile zurück.

Betrachtet man die relativen Änderungen der Verkehrsleistung, dann steigen die Personenkilometer im ÖV deutlich zwischen 50 Prozent in S03 und fast 100 Prozent in S02. Die Verkehrsleistung im Pkw-Verkehr sinkt in S01 um etwa 5 Prozent, in S02 um etwa 6 Prozent und in S03 um etwa 3 Prozent. Die relativen Änderungen sind im Pkw-Verkehr am kleinsten, da hier die Verkehrsleistung im Ausgangszustand hoch ist.

Moduswahl für den Binnenverkehr des Planungsraums (Bild 9)

Bei den in Bild 9 dargestellten Wegen des Binnenverkehrs im Planungsraum dominiert der Fußverkehr, da die mittlere Weglänge im Planungsraum kürzer als in der Region ist. In allen Szenarien steigen die gesamten Personenkilometer über alle Verkehrsmittel. Das bedeutet, dass die Veränderungen im ÖV-Angebot einen Einfluss auf die Zielwahl haben: Ziele im Schurwald werden durch die bessere Erreichbarkeit attraktiver und Personen sind bereit, weitere Strecken im Schurwald zurückzulegen. Da die Personenkilometer im ÖV im Ausgangszustand niedrige Werte aufweisen, führt das direkte Ridesharing zu hohen relativen Steigerungen. Im Pkw-Verkehr bleibt die Verkehrsleistung allerdings fast unverändert.

Moduswahl für den Quell-, Ziel-, und Binnenverkehr des Planungsraums differenziert nach Bedientyp (Bild 10)

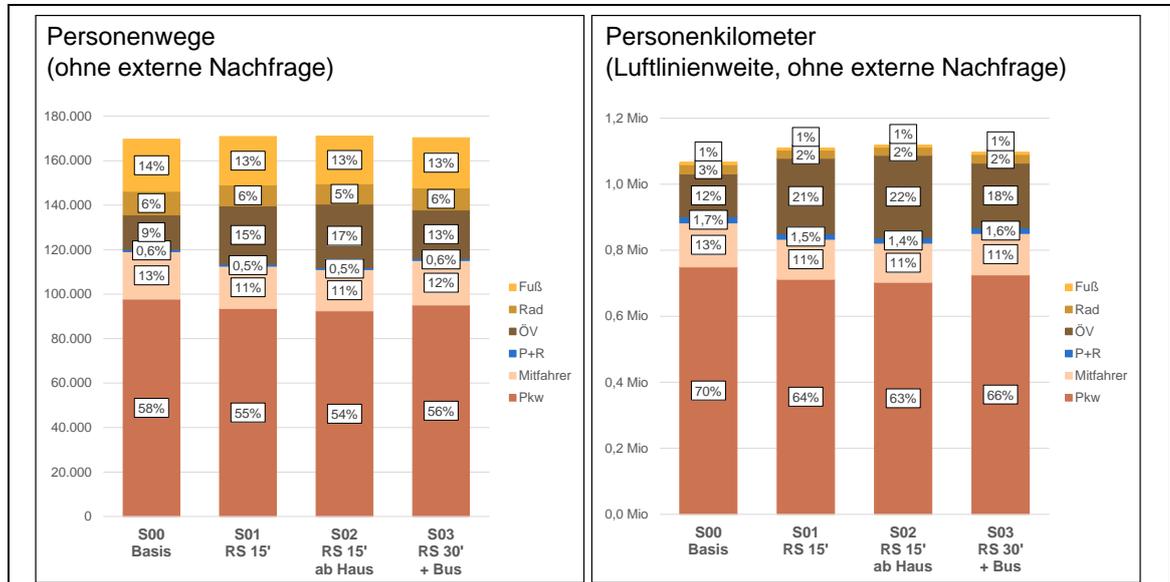
In Bild 10 ist die modale Aufteilung der Personenwege differenziert nach Bedientyp für die Szenarien S00 und S01 dargestellt. Betrachtet werden wieder alle Wege des Quell-, Ziel- und Binnenverkehrs bezogen auf den Planungsraum. Dabei wird die Nachfrage der einzelnen Relationen in drei Gruppen zusammengefasst, die den drei Bedientypen der Ridesharingsszenarien entsprechen:

- ÖV: Relationen mit liniengebundenem ÖV in S01
- Ridesharing direkt: Relationen mit direkten Ridesharing in S01
- Ridesharing Zubringer: Relationen mit Ridesharing als Zubringer in S01

Die Moduswahl ändert sich auf den Relationen, auf denen anstelle des liniengebundenen ÖV ein Ridesharingangebot verfügbar ist.

- Auf Relationen mit direktem Ridesharing steigt der ÖV-Anteil von 7 Prozent auf 22 Prozent.
- Auf Relationen mit Ridesharing als Zubringer steigt der ÖV-Anteil von 8 Prozent auf 16 Prozent.

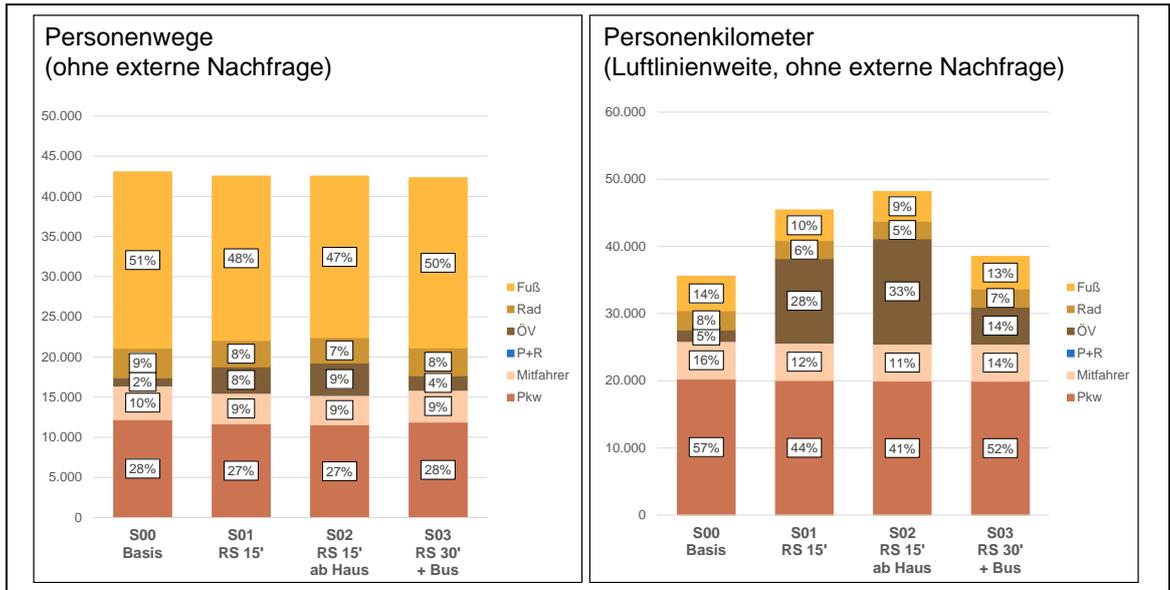
Die Zuwächse ergeben sich bei beiden Bedientypen aus der höheren Bedienungshäufigkeit. Auf Relationen mit direktem Ridesharing ist der Zuwachs höher, da hier keine Umstiege erforderlich sind und ähnliche Reisezeiten wie bei einer Taxifahrt erreicht werden.



	Verkehrsaufkommen: Personenwege				Änderung zu S00			Modal-Split Wege			
	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus
Pkw	97.700	93.500	92.500	95.100	-4%	-5%	-3%	57,6%	54,7%	54,1%	55,8%
Mitfahrer	21.400	19.000	18.600	20.000	-11%	-13%	-7%	12,6%	11,1%	10,9%	11,7%
P+R	1.000	900	900	1.000	-10%	-11%	-6%	0,6%	0,5%	0,5%	0,6%
ÖV	15.400	26.200	28.500	21.800	70%	85%	41%	9,1%	15,3%	16,7%	12,8%
Rad	10.700	9.400	9.200	10.000	-12%	-14%	-6%	6,3%	5,5%	5,4%	5,9%
Fuß	23.300	21.800	21.400	22.500	-7%	-8%	-3%	13,8%	12,7%	12,5%	13,2%
Summe	169.500	170.800	171.100	170.400	1%	1%	0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

	Verkehrsleistung: Personenkilometer				Änderung zu S00			Modal-Split Verkehrsleistung			
	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus
Pkw	749.500	712.000	703.000	725.500	-5%	-6%	-3%	70,3%	64,2%	62,8%	66,1%
Mitfahrer	133.500	121.000	118.500	125.500	-9%	-11%	-6%	12,5%	10,9%	10,6%	11,4%
P+R	18.500	16.500	16.000	17.000	-10%	-12%	-6%	1,7%	1,5%	1,4%	1,6%
ÖV	129.500	228.500	250.000	196.000	76%	93%	51%	12,2%	20,6%	22,4%	17,8%
Rad	28.500	25.000	24.500	26.000	-12%	-13%	-7%	2,7%	2,3%	2,2%	2,4%
Fuß	7.500	6.500	6.500	7.000	-9%	-12%	-5%	0,7%	0,6%	0,6%	0,6%
Summe	1.067.000	1.109.500	1.118.500	1.097.000	4%	5%	3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

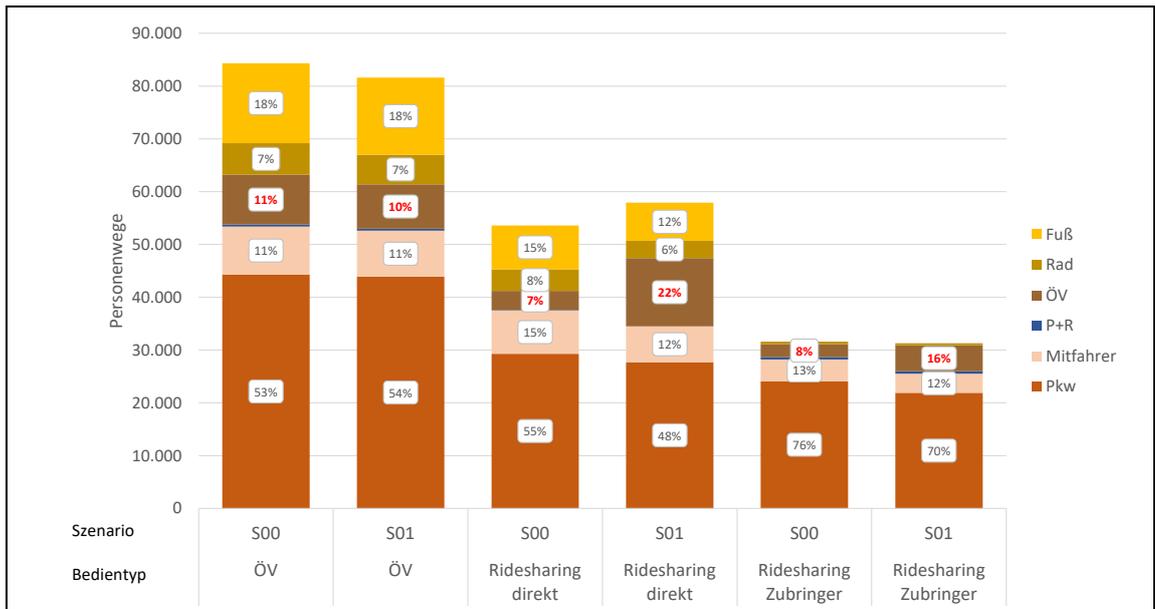
Bild 8: Moduswahl im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr des Planungsraums.



	Verkehrsaufkommen: Personenwege				Änderung zu S00			Modal-Split Wege			
	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus
Pkw	12.200	11.700	11.500	11.900	-4%	-5%	-3%	28,3%	27,5%	27,1%	28,1%
Mitfahrer	4.200	3.800	3.700	4.000	-10%	-12%	-6%	9,8%	9,0%	8,7%	9,4%
P+R	0	0	0	0	0%	0%	0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ÖV	1.000	3.300	4.000	1.800	234%	307%	83%	2,3%	7,7%	9,4%	4,2%
Rad	3.700	3.300	3.200	3.500	-11%	-14%	-6%	8,5%	7,7%	7,5%	8,2%
Fuß	22.000	20.500	20.100	21.200	-7%	-8%	-4%	51,0%	48,2%	47,3%	50,1%
Summe	43.100	42.600	42.500	42.400	-1%	-1%	-2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

	Verkehrsleistung: Personenkilometer				Änderung zu S00			Modal-Split Verkehrsleistung			
	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus
Pkw	20.000	20.000	20.000	20.000	-1%	-1%	-1%	56,9%	44,1%	41,4%	51,7%
Mitfahrer	5.500	5.500	5.500	5.500	-1%	-3%	-2%	15,9%	12,3%	11,4%	14,4%
P+R	0	0	0	0	0%	0%	0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ÖV	1.500	12.500	15.500	5.500	643%	829%	225%	4,7%	27,6%	32,5%	14,3%
Rad	3.000	2.500	2.500	2.500	-7%	-9%	-5%	8,1%	5,9%	5,4%	7,1%
Fuß	5.000	4.500	4.500	5.000	-11%	-13%	-6%	14,4%	10,1%	9,2%	12,6%
Summe	35.000	45.000	48.000	38.500	28%	35%	8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Bild 9: Moduswahl im Binnenverkehr des Planungsraums.



Bedientyp	Verkehrsaufkommen: Personenwege						Modal-Split Wege					
	ÖV		Ridesharing direkt		Ridesharing Zubringer		ÖV		Ridesharing direkt		Ridesharing Zubringer	
	S00	S01	S00	S01	S00	S01	S00	S01	S00	S01	S00	S01
Pkw	44.300	43.900	29.300	27.700	24.100	21.900	53%	54%	55%	48%	76%	70%
Mitfahrer	9.100	8.700	8.200	6.800	4.100	3.600	11%	11%	15%	12%	13%	12%
P+R	400	400	100	0	500	500	0%	0%	0%	0%	2%	2%
ÖV	9.400	8.400	3.600	12.900	2.400	4.900	11%	10%	7%	22%	8%	16%
Rad	6.000	5.600	4.100	3.300	500	400	7%	7%	8%	6%	2%	1%
Fuß	15.100	14.600	8.300	7.200	0	0	18%	18%	15%	12%	0%	0%
Summe	84.300	81.600	53.600	57.900	31.600	31.300	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Bild 10: Moduswahl im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr des Planungsraums für das Szenario S00 und S01, differenziert nach drei Bedientypen.

ÖV: Relationen mit liniengebundenem ÖV in S01

Ridesharing direkt: Relationen mit direktem Ridesharing in S01

Ridesharing Zubringer: Relationen mit Ridesharing als Zubringer in S01

4.2 Verkehrsmittelwahl im ÖV

Bild 11 zeigt für die ÖV-Personenwege die Nutzung der ÖV-Verkehrsmittel. Die Nachfragezuwächse des ÖV in den Szenarien S01 und S02 ergeben sich vor allem aus den direkten Ridesharingangeboten. Ridesharing als Zubringer ist vergleichsweise unattraktiv, da stets ein Umstieg mit entsprechenden Übergangszeiten einberechnet werden muss. In S03 erhöht sich die Anzahl der Personenfahrten, die ein fahrplangebundenes Verkehrsmittel nutzen und nicht umsteigen müssen, im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr des Planungsraums im Vergleich zu S00 um etwa 1.400 Personenfahrten.

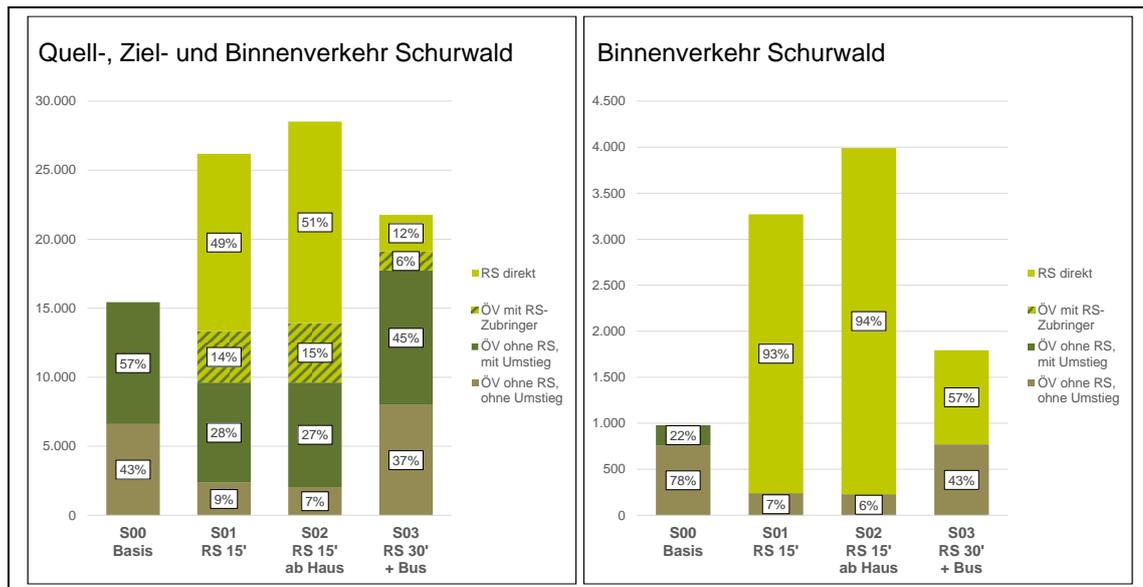


Bild 11: Verkehrsmittelwahl im ÖV bezogen auf Personenwege.

4.3 Fahrleistung und Verkehrsstärken

Auch wenn der Anteil der mit dem ÖV zurückgelegten Wege durch die Einführung von Ridesharing als Teil des ÖV zunimmt, ist dies nicht gleichbedeutend damit, dass die Fahrleistung auf den Straßen abnimmt. Das liegt daran, dass Ridesharing Ähnlichkeiten mit dem Pkw aufweist und der durchschnittliche Besetzungsgrad je Ridesharing-Lastfahrkilometer in allen Szenarien bei knapp 2,0 Fahrgästen liegt. Zusätzlich dazu müssen zum Umsetzen der Fahrzeuge benötigte Leerfahrten berücksichtigt werden.

Bild 12 zeigt die Fahrleistung der privaten Pkw und der Ridesharingfahrzeuge im Quell-, Ziel und Binnenverkehr. Die Gesamtfahrleistung nimmt in S01 und S02 um etwa 3,5 Prozent zu. Offensichtlich gleichen die Verlagerungen vom Pkw die Mehrkilometer durch Ridesharingfahrten in S01 und S02 nicht aus, sodass es zu einem Anstieg der Gesamtfahrleistung kommt. Lediglich in S03 kann ein geringer Rückgang der Gesamtfahrleistung verzeichnet werden. Die Fahrleistung der Busse ist an dieser Stelle jedoch nicht berücksichtigt (siehe dazu Kapitel 5.1).

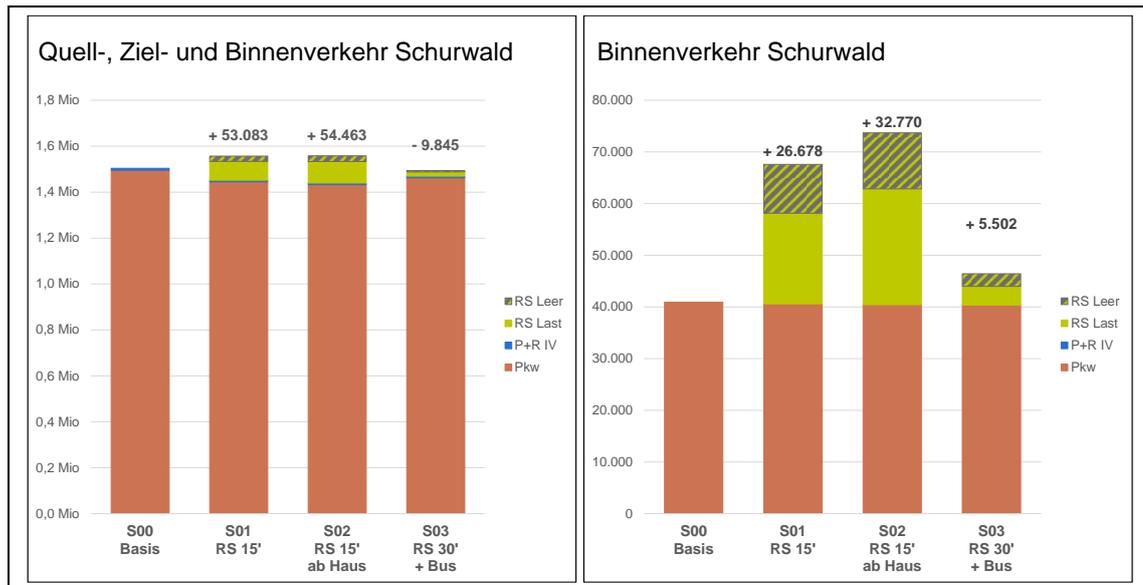


Bild 12: Durch Fahrten im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr (links) bzw. ausschließlich im Binnenverkehr (rechts) des Planungsraums erzeugte Ridesharing- und Pkw-Fahrzeugkilometer.

Der Anteil der Leerfahrtskilometer an den Gesamtfahrzeugkilometern im Ridesharing liegt in S01 und S02 für den Quell-, Ziel- und Binnenverkehr bei 22 bzw. 21 Prozent, für den Binnenverkehr bei 35 bzw. 33 Prozent. Die Tendenz, dass bei einer höheren Gesamtanzahl von Ridesharingfahrten anteilig weniger Leerfahrtskilometer benötigt werden, zeigt sich auch im Vergleich mit S03. In diesem Szenario liegt der Leerfahrtskilometeranteil mit 24 bzw. 41 Prozent für Quell-, Ziel- und Binnenverkehr bzw. ausschließlich Binnenverkehr jeweils höher als in den Szenarien S01 und S02.

Die räumliche Verteilung der Ridesharing-Lastfahrten und Leerfahrten, d.h. die Verkehrsstärken je Strecke, sind in Bild 13 exemplarisch für S01 dargestellt. In Bild 14 ist die Änderung der Pkw- und Ridesharing-Gesamtverkehrsstärke in S01 gegenüber S00 dargestellt. Es überwiegt die Klasse mit Werten von 1,02 bis 1,10. Das entspricht einem Anstieg der Verkehrsstärke auf der Strecke zwischen 2 und 10 Prozent bezogen auf die Verkehrsstärke des Bezugsfalls. Auffällig sind die hohen relativen Zuwächse auf Strecken in unmittelbarer Nähe viel genutzter Ridesharing-Zubringer-Umstiegspunkte (insbesondere Esslingen und Göppingen).

Die Kartendarstellungen für S02 und S03 befinden sich im Anhang als Bild 36, Bild 37, Bild 38 und Bild 39. Es lassen sich grundsätzlich der aggregierten Auswertung (Bild 12) entsprechende Ergebnisse erkennen.

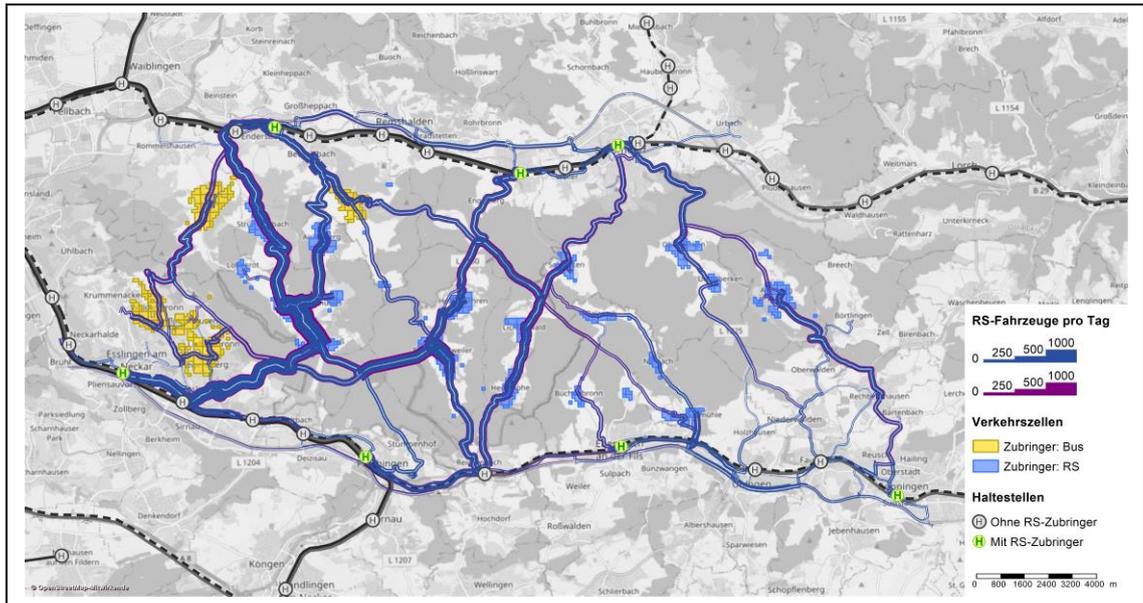


Bild 13: Durch Ridesharingfahrzeuge erzeugte Streckenverkehrsstärken in Szenario S01: Last- (blau) und Leerfahrten (violett).

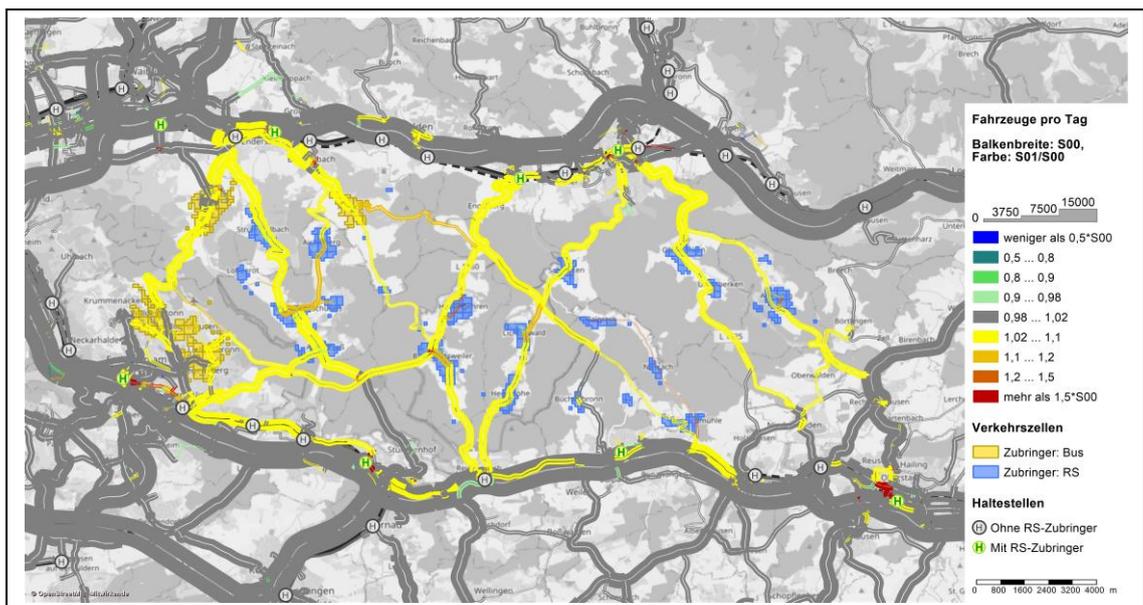


Bild 14: Relative Änderung der Streckenverkehrsstärken von S01 zu S00.

4.4 Ridesharing-spezifische Kenngrößen

Eine zentrale Kenngröße des Ridesharing ist der durchschnittliche Besetzungsgrad einer Lastfahrt. In allen drei Ridesharing-Szenarien liegt dieser bei knapp 2,0 Personenkilometern je Lastfahrkilometer. Da die Ridesharingfahrzeuge eine Kapazität von 6 Fahrgästen aufweisen, erscheint dieser Wert gering. Dafür gibt es zwei Erklärungen. Zum einen lassen sich Personenfahrten auf Grund räumlicher und zeitlicher Beschränkungen zum akzeptierten Umweg und zur Wartezeit nur bis zu einem gewissen Grad bündeln.

Zum anderen steigen die Fahrgäste einer Fahrzeugfahrt zumeist nicht alle am gleichen Punkt ein bzw. aus. Das führt dazu, dass auch eine Fahrzeugfahrt mit einem maximalen Besetzungsgrad von 6 Personen nicht auf 6 Personenkilometer je Lastfahrtskilometer kommt.

Bild 15 zeigt die Verteilung der maximalen Besetzungsgrade je Lastfahrt für jedes Ride-sharing-Szenario. Der durchschnittliche maximale Besetzungsgrad je Lastfahrt liegt in S01 bei 2,49, in S02 bei 2,52 und in S03 bei 2,42.

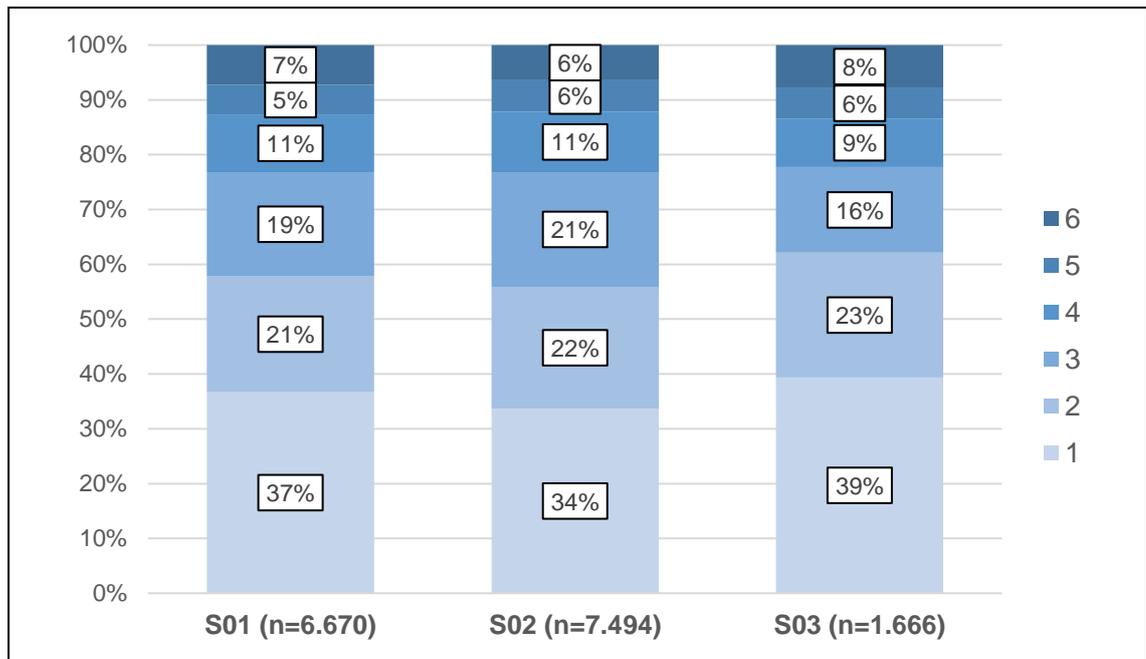


Bild 15: Anteil der Ridesharing-Lastfahrten mit 1...6 als maximalem Besetzungsgrad je Szenario (n = gesamte Fahrzeugzahl).

Der durchschnittliche Umweg, den Ridesharing-Fahrgäste im Vergleich zu einer Direktfahrt für die Mitnahme von weiteren Mitfahrern in Kauf nehmen müssen, ist in allen Szenarien gering. Bezogen auf die Fahrzeit liegt der Umwegfaktor in S01 im Schnitt über alle Fahrgäste bei 1,13 (S02: 1,19; S03: 1,10). Die durchschnittliche absolute Umwegzeit, also die Fahrzeit, die im Vergleich zu einer direkten Fahrt hinzukommt, liegt bei 1,9 min in S01 (S02: 2,7 min; S03: 1,4 min).

Die genannten Werte sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

	Szenario	Ø Besetzungsgrad je Einsatzkilometer	Ø Besetzungsgrad je Lastfahrkilometer	Ø max. Besetzungsgrad je Lastfahrt	Ø Umwegfaktor je Lastfahrt	Ø Umwegzeit je Lastfahrt
S01	RS 15' mit Haltestellen	1,53	1,96	2,49	1,13	1,9 min
S02	RS 15' bis zur Haustür	1,56	1,97	2,52	1,19	2,7 min
S03	Bus + RS 30' mit Haltestellen	1,48	1,96	2,42	1,10	1,4 min

Tabelle 4: Besetzungsgrad und Umwegigkeit im Ridesharing.

Insbesondere zur Sicherstellung der Umstiege von Ridesharing auf den schienengebundenen Verkehr ist es wichtig abzuschätzen, wie viele Halte- bzw. Parkmöglichkeiten für Ridesharingfahrzeuge vorgehalten werden müssen. Bild 16 (blauer Graph) zeigt exemplarisch für den Bahnhof Esslingen, wie viele Ridesharingfahrzeuge entsprechend S01 je 15 min-Zeitintervall halten müssten, um Fahrgäste aus- oder einsteigen zu lassen. Das Maximum liegt hier bei 12 Fahrzeugen pro 15 min und wird sowohl morgens als auch abends erreicht.

Im Modell werden keine Fahrzeugfahrten von zurzeit nicht benötigten Fahrzeugen zu zentralen Sammelorten abgebildet. Würden die Fahrzeuge jeweils am letzten Punkt verweilen, an dem sie einen Fahrgast abgesetzt haben, bis sie für den nächsten Fahrtwunsch benötigt werden, ergibt sich die ebenfalls in Bild 16 dargestellte Ganglinie der leer wartenden Fahrzeuge am Bahnhof Esslingen. Das Maximum der ungenutzt wartenden Fahrzeuge liegt bei 39 Fahrzeugen zwischen 10:15 und 10:30 Uhr.

Leer wartende Fahrzeuge können grundsätzlich auch an zentrale Parkplätze umverteilt werden. Für gleichzeitig in verschiedenen Fahrzeugen ankommende Fahrgäste sollten jedoch ausreichend Haltemöglichkeiten bereitgestellt werden, um Verzögerungen zu vermeiden.

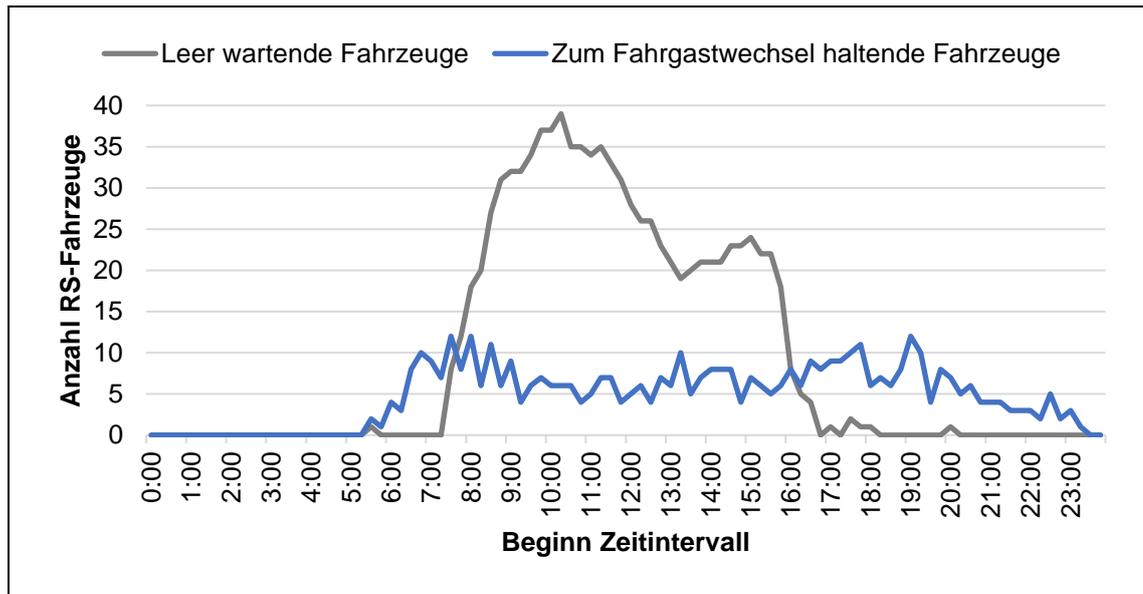


Bild 16: Ganglinie der Ridesharingfahrzeug-Ankünfte sowie leer wartender Ridesharingfahrzeuge am Bahnhof Esslingen in Szenario S01.

4.5 ÖV-Angebotsänderungen ausgewählter Relationen

Im Folgenden werden ÖV-Angebotsänderungen und Nachfrageeffekte für ausgewählte Relationen im Szenario S01 näher betrachtet. Die betrachteten Relationen werden wie folgt festgelegt:

- Als Startzellen der betrachteten Ortsveränderungen werden drei Zellen im Schurwald gewählt. Eine Zelle in Lobenrot im Westen des Schurwalds (SW-West), eine Zelle in Baltmannsweiler, die mittig im Schurwald liegt, (SW-Mitte) und eine Zelle im Osten des Schurwalds, die zu Adelberg gehört, (SW-Ost). SW-Ost wird im Gegensatz zu SW-West und SW-Mitte so gewählt, dass eine hohe Zugangszeit zu in S00 bestehenden Bushaltestellen vorliegt.
- Als Zielzellen werden ebenfalls drei verschiedenartige Zellen in der Region gewählt. Erstens Plochingen (ES-Plo) als direkt an den Schurwald angrenzendes Ziel. Zweitens Stuttgart Degerloch (S-Deg) als in Stuttgart liegendes Ziel, das nicht direkt mit der S-Bahn erreicht wird. Drittens Stuttgart Hauptbahnhof (S-Hbf) als gut mit der S-Bahn erreichbares Ziel.
- Zudem werden die Relationen des Binnenverkehrs von SW-West nach SW-Mitte und SW-Ost betrachtet.

Bild 40 im Anhang enthält eine Kartendarstellung der betrachteten Relationen. In Tabelle 5 sind Nachfragewerte für Pkw und ÖV dargestellt, in Tabelle 6 Kennwerte des ÖV-Angebots.

Die absolute Nachfrage der einzelnen Relationen ist jeweils gering, da die Zellen im Schurwald sehr klein sind und dementsprechend wenig Wege erzeugen. Nichtsdestotrotz lässt sich erkennen, dass auf allen Relationen der ÖV-Anteil des bimodalen Modal-Splits aus Pkw und ÖV zunimmt. Für die Attraktivitätssteigerung sind vor allem die erhöhte Bedienungshäufigkeit und, im Fall von SW-Ost, die verringerte Zugangszeit verantwortlich. Vor allem auf Relationen innerhalb des Schurwalds können die Umsteigehäufigkeit und damit verbundene Wartezeiten verringert werden.

Die Attraktivitätssteigerung des ÖV wird jedoch durch zwei Faktoren begrenzt:

- Für Ridesharing-Zubringer-Fahrten werden für die Geh- und Wartezeit beim Umstieg von Ridesharing-Fahrzeug zu schienengebundenem Verkehrsmittel 3 und 5 min berücksichtigt. Auf Relationen mit in S00 gut aufeinander abgestimmten Bus- und S-Bahn-Fahrplänen (siehe z.B. Relationen mit Ziel S-Hbf) führt das zu einer Erhöhung dieses Reisezeitanteils.
- Darüber hinaus wird die Bedienungshäufigkeit der Verbindungen mit Ridesharing-Zubringern durch die Bedienungshäufigkeit an mit Ridesharing-Zubringern erreichbaren Umsteigepunkten begrenzt. Nichtsdestotrotz liegt die Bedienungshäufigkeit bei den betrachteten Relationen mit mindestens 79 Abfahrten pro Tag (von SW-Mitte nach S-Deg) sehr hoch.

Von	Nach	Art des RS	Summe Nachfrage Pkw und ÖV [Personenwege]			Bimodaler Modal-Split-Anteil ÖV	
			S00	S01	S01/S00	S00	S01
SW-West	ES-Plo	Direkt	4,1359	5,9224	1,4	1%	37%
SW-Mitte	ES-Plo	Direkt	10,5621	11,2681	1,1	3%	21%
SW-Ost	ES-Plo	Direkt	0,0558	0,0846	1,5	2%	40%
SW-West	S-Deg	Zubringer	0,0323	0,0339	1,1	1%	22%
SW-Mitte	S-Deg	Zubringer	0,0452	0,0459	1,0	8%	23%
SW-Ost	S-Deg	Zubringer	0,0014	0,0023	1,7	8%	50%
SW-West	S-Hbf	Zubringer	0,0345	0,3256	9,4	14%	87%
SW-Mitte	S-Hbf	Zubringer	0,1508	0,5509	3,7	84%	94%
SW-Ost	S-Hbf	Zubringer	0,0027	0,0353	12,9	51%	93%
SW-West	SW-Mitte	Direkt	0,0385	0,0532	1,4	1%	42%
SW-West	SW-Ost	Direkt	0,0001	0,0002	2,5	0%	77%

Tabelle 5: Nachfragewirkungen auf ausgewählten Relationen in S01.

Von	Nach	Art des RS	Mittlere Reisezeit ÖV		Differenz mittlerer ÖV-Kenngrößen S01-S00				
			S00	S01	Zu- & Abgangszeit	Umsteigewarte- & -gezeit	Fahrtzeit im Fahrzeug*	Umsteige- häufigkeit	Bedienungs- häufigkeit [Abfahrten/Tag]
SW-West	ES-Plo	Direkt	49 min	32 min	-3 min	-10 min	-3 min	-1,2	+92
SW-Mitte	ES-Plo	Direkt	30 min	27 min	-5 min	0 min	+1 min	0,0	+92
SW-Ost	ES-Plo	Direkt	81 min	48 min	-23 min	-8 min	-2 min	-1,0	+69
SW-West	S-Deg	Zubr.	71 min	71 min	-0 min	-1 min	+1 min	-0,3	+93
SW-Mitte	S-Deg	Zubr.	73 min	70 min	+0 min	+1 min	-3 min	-0,0	+47
SW-Ost	S-Deg	Zubr.	109 min	86 min	-20 min	+1 min	-3 min	+0,0	+54
SW-West	S-Hbf	Zubr.	53 min	55 min	0 min	+1 min	+1 min	-0,3	+93
SW-Mitte	S-Hbf	Zubr.	55 min	53 min	0 min	+2 min	-4 min	0,0	+57
SW-Ost	S-Hbf	Zubr.	90 min	71 min	-20 min	+3 min	-2 min	0,0	+59
SW-West	SW-Mitte	Direkt	33 min	22 min	0 min	-7 min	-4 min	-1,4	+93
SW-West	SW-Ost	Direkt	112 min	54 min	-20 min	-19 min	-20 min	-2,5	+93

* Für die Ridesharing-Fahrtzeitanteile wird hier von einem Umwegfaktor von 1,3 zum direkten Weg ausgegangen.

Tabelle 6: ÖV-Kenngrößen auf ausgewählten Relationen in S00 und S01.

5 Betrieblicher Aufwand und Emissionsbetrachtung

In diesem Kapitel werden der betriebliche Aufwand, der Energieverbrauch und die Emissionen für die Ridesharing-Szenarien dargestellt. Hierfür werden folgende Fahrzeugkonzepte hinsichtlich des Antriebs und des Automatisierungsgrads für Bus und Ridesharingfahrzeuge unterschieden:

- Konzept 1 – Busse werden konventionell mit Diesel angetrieben, Ridesharingfahrzeuge elektrisch. Beide Fahrzeugarten werden von einem Fahrer gelenkt.
- Konzept 2 – Busse fahren konventionell mit Diesel und einem Fahrer. Ridesharingfahrzeuge werden elektrisch betrieben und fahren autonom (d.h. voll automatisiert).
- Konzept 3 – Busse sowie Ridesharingfahrzeuge fahren elektrisch und autonom.

Für die Auswertung werden die Buslinien, die das Ridesharingangebot im Schurwald ergänzen, mitbetrachtet. Dabei sind alle Buslinien, die den Schurwald tangieren, relevant. Eine Übersicht dieser Buslinien findet sich im Anhang in Bild 41 bis Bild 43.

5.1 Betriebliche Kenngrößen

In diesem Unterkapitel werden die betrieblichen Kenngrößen Einsatzkilometer, Beförderungsfälle und erforderliche Fahrzeugzahl für jedes Szenario dargestellt.

Bild 17 zeigt die Einsatzkilometer von Bussen und Ridesharingfahrzeugen pro Tag. Zusätzlich findet eine Differenzierung zwischen Last- und Leerkilometern statt.

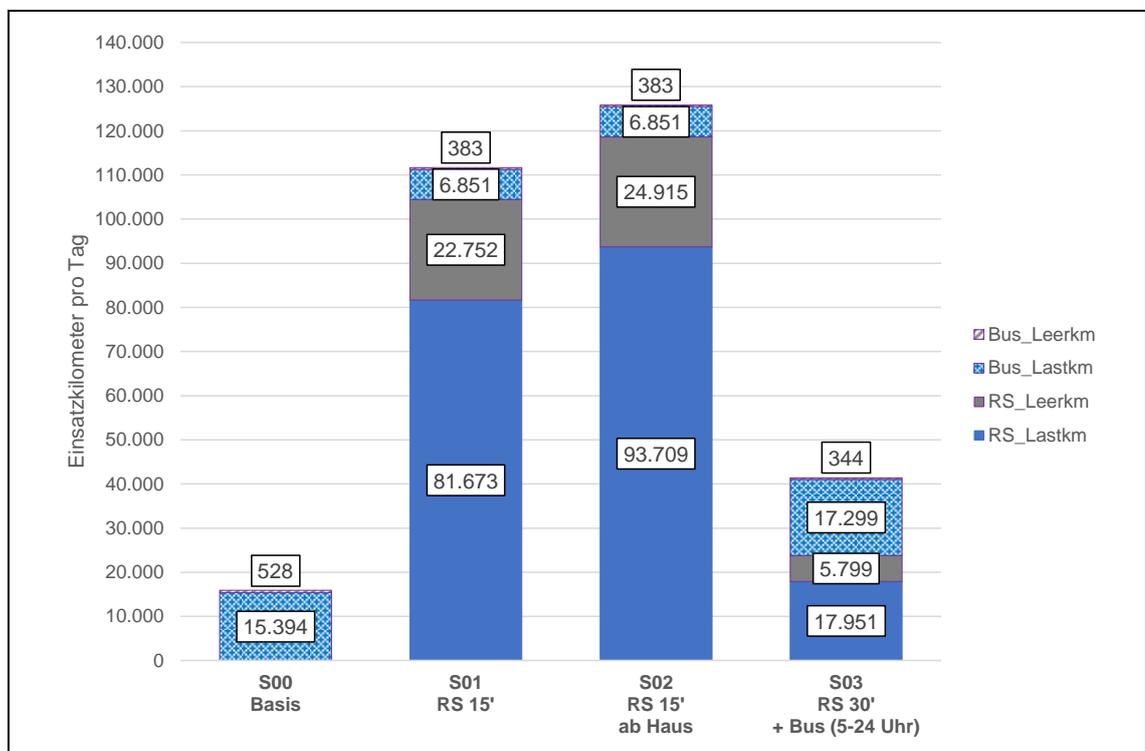


Bild 17: Einsatzkilometer pro Tag.

Im Vergleich zum Basisfall S00 entfallen in Szenario S01 und S02 alle Buslinien, die den Schurwald queren. Das wirkt sich auf die Einsatzkilometer aus. Die Einsatzkilometer halbieren sich annähernd. Dagegen produziert das eingeführte Ridesharingangebot in S01 105.000 zusätzliche Einsatzkilometer. Diese erhöhen sich bei einer Fahrgastabholung zu Hause nochmals um ca. 14.000 km auf 119.000 Einsatzkilometer. Bei der Kombination aus drei ergänzenden Buslinien und einem Ridesharingangebot in S03 sinken die Einsatzkilometer der Ridesharingfahrzeuge im Vergleich zu S01/S02 deutlich. Dies weist auf eine bereits gute Versorgung der Nachfrage durch den ergänzenden Busverkehr hin. Allerdings produziert der Busverkehr in S03 mehr Einsatzkilometer als im Basisfall S00, da das Busangebot der drei ergänzenden Buslinien auf einen 15-Minuten-Takt zwischen 5:00 und 24:00 Uhr ausgeweitet wurde. Allgemein gilt, dass durch die Einführung eines Ridesharingangebots in jedem Fall mehr Einsatzkilometer produziert werden.

In Bild 18 sind die Beförderungsfälle pro Tag, differenziert nach Bus und Ridesharing, dargestellt.

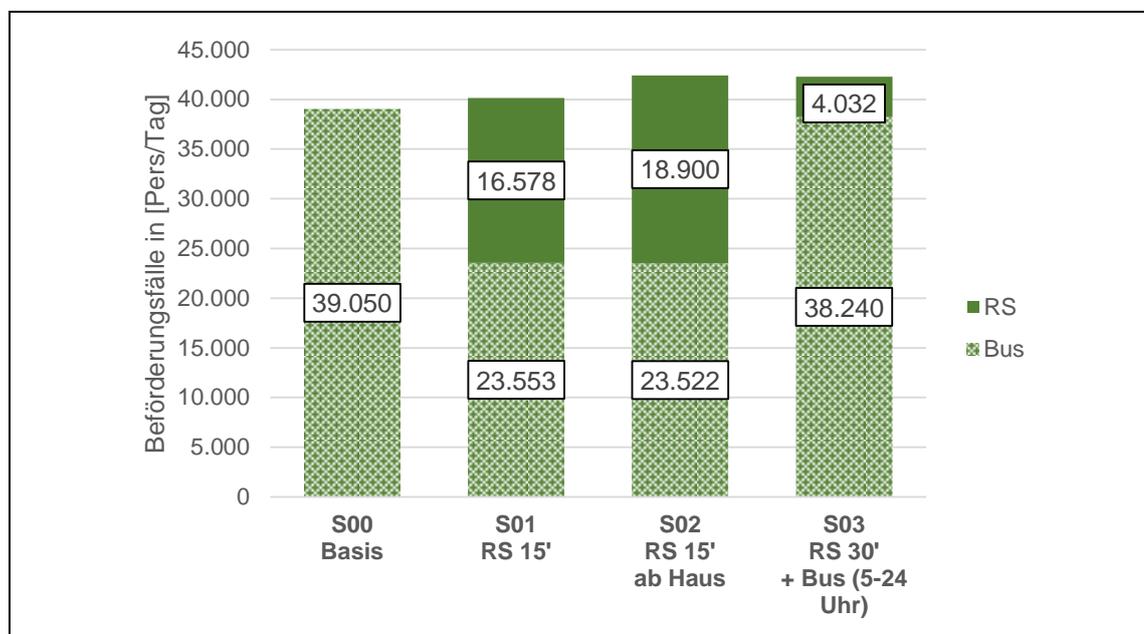


Bild 18: Beförderungsfälle pro Tag.

Es ist zu erkennen, dass bei Einführung eines Ridesharingangebots und Entfall von Buslinien ein Teil der Bus-Beförderungsfälle durch das Ridesharing übernommen werden. Zudem steigen die gesamten Beförderungsfälle in S01, S02 und S03 über die Anzahl der Beförderungsfälle im Basisfall S00 hinaus. Dies liegt an der Verbesserung des ÖV-Angebots durch das Ridesharing.

Bild 19 zeigt die benötigte Anzahl an Bussen und Ridesharingfahrzeugen für die Erbringung des ÖV-Angebots.

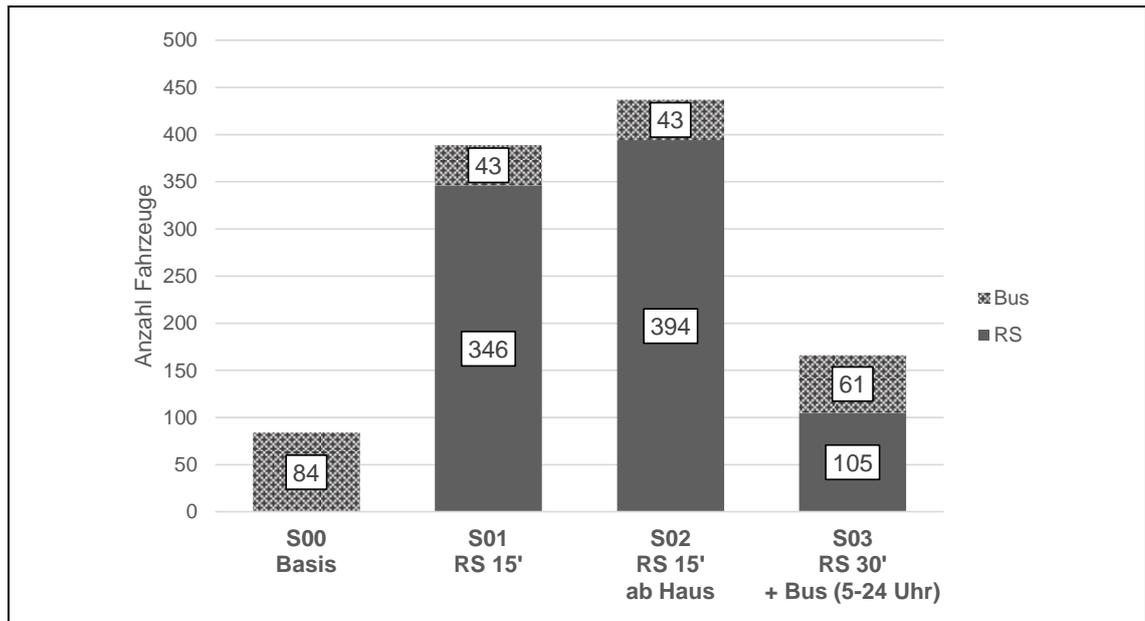


Bild 19: Benötigte Fahrzeuge.

In Szenario S01 und S02 werden 21 Busse weniger benötigt als im Basisfall S00. Dies ist ein Resultat der entfallenden Buslinien, die durch das Ridesharingangebot ersetzt werden. Die entfallenden Busse werden durch 346 bzw. 394 Ridesharingfahrzeuge kompensiert. Diese Fahrzeuge weisen mit 6 Plätzen eine deutlich geringere Kapazität als ein Linienbus auf. Deshalb müssen überproportional viele Ridesharingfahrzeuge eingesetzt werden, um die gleiche Anzahl bzw. mehr Fahrgäste (vgl. Bild 18) zu befördern. Im Szenario S03 sind 18 Busse mehr als in S01/S02 im Einsatz. Diese bedienen die ergänzenden drei Buslinien, die einen Großteil der Ridesharing-Beförderungsfälle übernehmen (vgl. Bild 18). Das reduziert die Anzahl der erforderlichen Ridesharingfahrzeuge in S03.

Tabelle 7 zeigt den durchschnittlichen Besetzungsgrad, die durchschnittlichen täglichen Servicekilometer und Servicezeit eines Fahrzeugs für jedes Szenario.

	S00 Bezugsfall		S01 RS 15' mit Haltestellen		S02 RS 15' bis zur Haustür		S03 Bus 5-24 Uhr + RS 30' mit Haltestellen	
	Bus	RS	Bus	RS	Bus	RS	Bus	RS
Ø-Besetzungsgrad [PersKm/ServicefahrtKm]	10,32	-	9,90	1,96	9,88	1,97	9,39	1,96
Ø-ServiceKm pro Fzg und Tag [km/Tag]	183	-	159	236	159	238	284	171
Ø-Servicezeit pro Fzg und Tag [h/Tag]	6,9	-	7,4	5,7	7,4	6,2	10,3	4,0

Tabelle 7: Besetzungsgrad, Servicekilometer und Servicestunden.

Der durchschnittliche Besetzungsgrad der Ridesharingfahrzeuge bleibt über alle Szenarien nahezu konstant. Der Besetzungsgrad der Busse sinkt in den Szenarien mit Ridesharing um bis zu 10 Prozent. Der geringe Besetzungsgrad in S03 resultiert aus dem ganztägigen 15-Minuten-Takt.

Der Vergleich der durchschnittlichen Servicekilometer pro Fahrzeug und Tag ergibt, dass ein Ridesharingfahrzeug in S01 und S02 mehr Servicekilometer als ein Bus fährt. In S03 kehrt sich das Verhältnis um, da die ergänzenden Buslinien lange Linienrouten haben und in einem Takt von 15 Minuten verkehren. Diese Regelmäßigkeit erhöht die Servicekilometer der Busse.

Die durchschnittlichen Servicestunden pro Fahrzeug und Tag sind in jedem Szenario bei Ridesharing geringer als im Busverkehr. Ursache hierfür ist eine höhere Systemgeschwindigkeit beim Verkehrsmittel Ridesharing. Die hohe Zahl der Servicestunden in S03 ist wieder das Ergebnis des 15-Minuten-Takts.

5.2 Kostenbetrachtung

Die verwendeten Kostensätze für die Berechnung des betrieblichen Aufwandes können Tabelle 8 entnommen werden. Die entsprechenden Quellen können der Tabelle entnommen werden. Zusätzlich wurden allgemeingültige Quellen verwendet [3], [10], [17].

	Bus Fahrer, Diesel	Bus AV, elektrisch	RS Fahrer, elektrisch	RS AV, elektrisch	Quellen
Km-Kosten	0,81 €/km	0,44 €/km	0,19 €/km	0,18 €/km	
Davon Antriebs-abhängig	0,59 €/km	0,23 €/km	0,07 €/km	0,07 €/km	[5], [12]
Davon Reifen + Reinigung	0,22 €/km	0,21 €/km	0,12 €/km	0,11 €/km	[1], [9]
Std-Kosten	28,30 €/h	14,00 €/h	28,55 €/h	14,30 €/h	
Davon Fahrperso-nal	16,00 €/h	-	16,00 €/h	-	[7]
Davon Overhead/ Flottenmanagement	12,30 €/h	14,00 €/h	12,55 €/h	14,30 €/h	[9]
Fzg-Kosten je Tag (Anschaffung, Ver-sicherung, Steuern)	162,00 €/(Fzg·Tag)	191,00 €/(Fzg·Tag)	31,00 €/(Fzg·Tag)	33,00 €/(Fzg·Tag)	[1], [9]
CO₂-Steuer (55€/t, Horizont 2025)	0,068 €/km	0,021 €/km	0,006 €/km	0,006 €/km	[2]

Tabelle 8: Kostensätze für die Fahrzeugkonzepte.

Im Folgenden werden die Unterschiede bei den Kostensätzen kurz erläutert:

- Autonome Fahrzeuge fahren vorausschauender und besitzen daher einen geringeren Kraftstoffverbrauch und Reifenverschleiß [3].
- Overheadkosten werden abhängig von den Gesamtfahrzeugkilometern pro Jahr berechnet. Autonome Fahrzeuge können durch Entfall von Ruhepausen für den Fahrer länger pro Tag eingesetzt werden und erzeugen somit höhere Overheadkosten [9].
- Anschaffung eines autonomen Fahrzeugs ist teurer als die eines herkömmlichen Fahrzeugs [3].

Auf Grundlage dieser Kostensätze können die werktäglichen Betriebskosten für die jedes Fahrzeugkonzepts bestimmt werden. Die Ergebnisse sind in Bild 20 dargestellt.

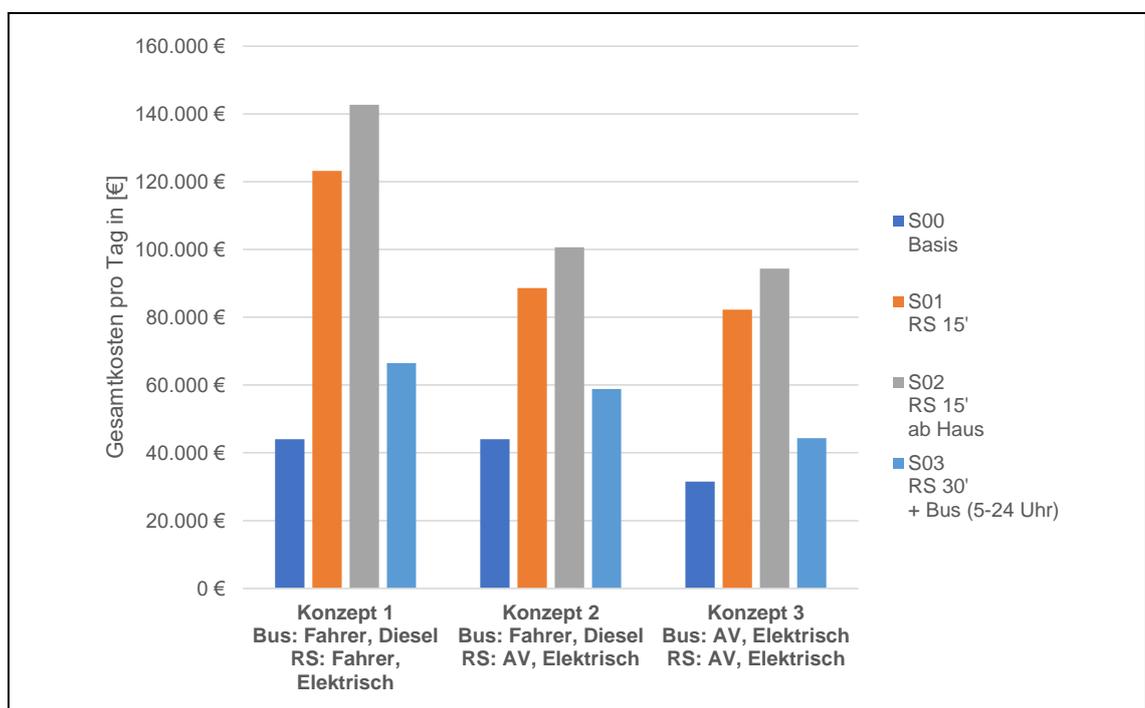


Bild 20: ÖV-Fahrzeugflotte: Kosten pro Tag.

Bei Einführung eines Ridesharingangebots mit Konzept 1 ohne ergänzende Buslinien, entsprechend in S01 und S02, erhöhen sich die Kosten pro Tag um einen Faktor von ca. 3. Bei Abholung der Fahrgäste zu Hause wird der höchste betriebliche Aufwand notwendig, da hier die höchste Anzahl an Ridesharingfahrzeugen und Einsatzkilometern erforderlich ist. Das Szenario S03 stellt eine Zwischenlösung aus dem Basisfall S00 und dem ausschließlichen Einsatz von Ridesharingfahrzeugen in den Szenarien S01 und S02 dar. Dies spiegelt sich in den geringeren Kosten als in S01 und S02, aber höheren Kosten als in S00 wider. Beim Wechsel zum Fahrzeugkonzept 2 erhöhen sich die Kosten vom Basisfall S00 zu S01/S02 um einen Faktor von ca. 2. Dies liegt an den entfallenden Fahrpersonalkosten bei Ridesharing, die einen großen Teil der einsatzzeitabhängigen Kosten verursachen. Im Vergleich zu Konzept 1 verringern sich die Gesamtkosten im Konzept 2 von S03 um 9 Prozent. Im Fall von S01 und S02 handelt es sich um eine

Verringerung von je 30 Prozent. Diese Diskrepanz lässt sich durch die geringere Anzahl an Ridesharingfahrzeugen in Szenario S03 im Vergleich zu S01/S02 erklären.

Bei zusätzlicher Automatisierung der Busse (Konzept 3) verringern sich die Gesamtkosten für jedes Szenario. Nichtsdestotrotz lässt sich auch hier eine Diskrepanz der prozentualen Kostenverringerung zwischen S01/S02 und S03 beobachten. Der betrachtete Busverkehr in S01/S02 ist geringer als in S03, bei dem drei Buslinien ergänzt werden. Diese zusätzlichen Buslinien ergeben mehr Potential für eine Kostenverringerung bei entfallendem Bus-Fahrpersonal. Die Kosten in S01 und S02 verringern sich gegenüber Konzept 2 um 7 Prozent, S03 erreicht eine Reduktion um 26 Prozent.

Eine genauere Aufschlüsselung der Tageskosten nach Kostenart findet sich im Anhang in Bild 44, Bild 45 und Bild 46.

Eine Hochrechnung dieser Gesamtkosten auf ein Jahr ist in Bild 21 abgebildet. Die Hochrechnung wird mit einem Faktor von 300 durchgeführt, welcher das geringere ÖV-Angebot an Wochenenden, Feiertagen und Schulferien abbildet.

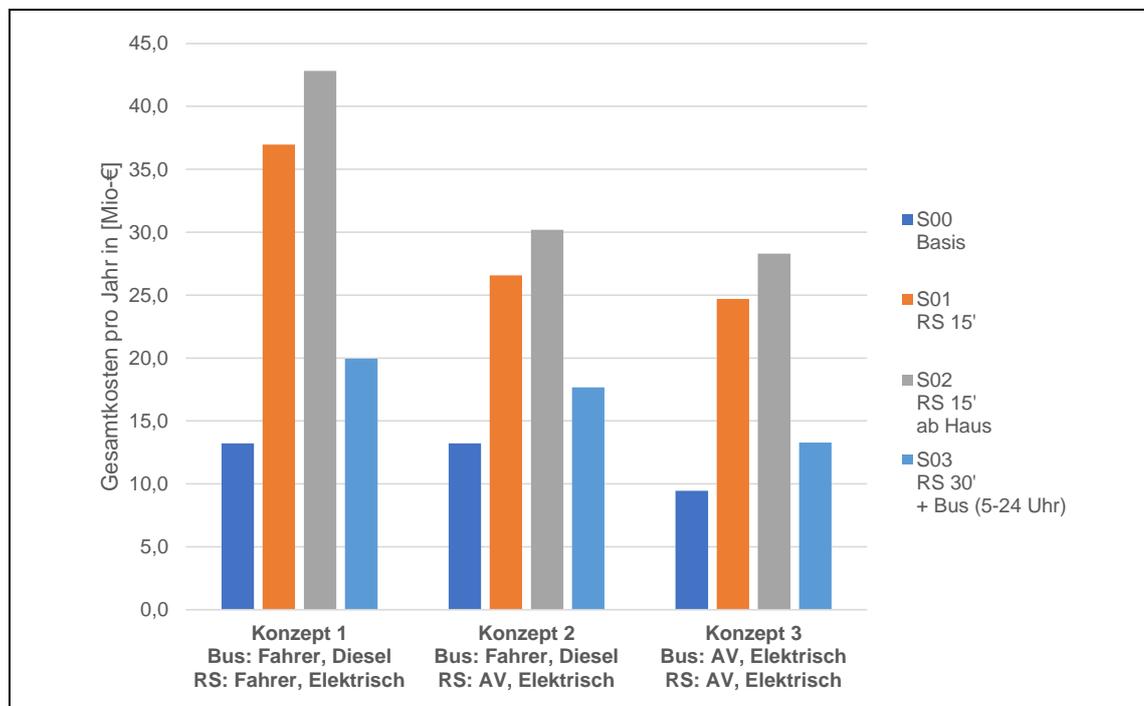


Bild 21: ÖV-Fahrzeugflotte: Kosten pro Jahr.

5.3 Emissionen und Energieaufwand

In diesem Kapitel werden Energieaufwand und CO₂-Bilanz jeweils mit und ohne Vorkette, also der Herstellung des Dieselmotorkraftstoffs und des Stroms, betrachtet. Die jeweiligen Berechnungssätze befinden sich in Tabelle 9. Hier muss lediglich zwischen den Antriebsarten Diesel und elektrisch unterschieden werden, da der Grad des autonomen

Fahrens entfällt. Die wesentlichen Annahmen für die berechneten Faktoren können Tabelle 10 im Anhang entnommen werden.

	Bus Diesel	Bus elektrisch	RS elektrisch
Energieaufwand Vorkette [kWh/km]	3,33	2,18	0,63
Energieaufwand Fahrt [kWh/km]	4,61	0,95	0,28
CO₂-Bilanz Vorkette [kg/km]	0,19	0,38	0,11
CO₂-Bilanz Fahrt [kg/km]	1,24	0	0

Tabelle 9: Energieaufwand und CO₂-Emissionen.

Die oben aufgeführte Tabelle unterscheidet Energieaufwand und CO₂-Emissionen nach Entstehung in der Vorkette und bei Fahrt. Dabei zählen zur Vorkette alle Emissionen bzw. Energieaufwände, die bis zur Bereitstellung an der Tankstelle (Diesel) oder der Steckdose (Strom) anfallen. Den CO₂-Emissionen der Vorkette des Stroms wird der deutsche Strommix [13] zu Grunde gelegt. Bei der Fahrt werden die lokalen Emissionen und Energieaufwände quantifiziert. Im Falle eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs fallen lokal keine CO₂-Emissionen an, da ein Elektromotor kein Kohlenstoffdioxid ausstößt. Auf die Betrachtung des Energieaufwandes und der CO₂-Emissionen bei der Herstellung der Fahrzeuge wird verzichtet.

Bild 22 stellt den Energieaufwand für Ridesharing und Busverkehr differenziert nach Vorkette und Fahrt dar. Links ist die Antriebsartenkombination Dieselbus und elektrisches Ridesharingfahrzeug (entspricht Konzept 1 und 2), rechts elektrischer Bus und elektrisches Ridesharingfahrzeug (entspricht Konzept 3) abgebildet.

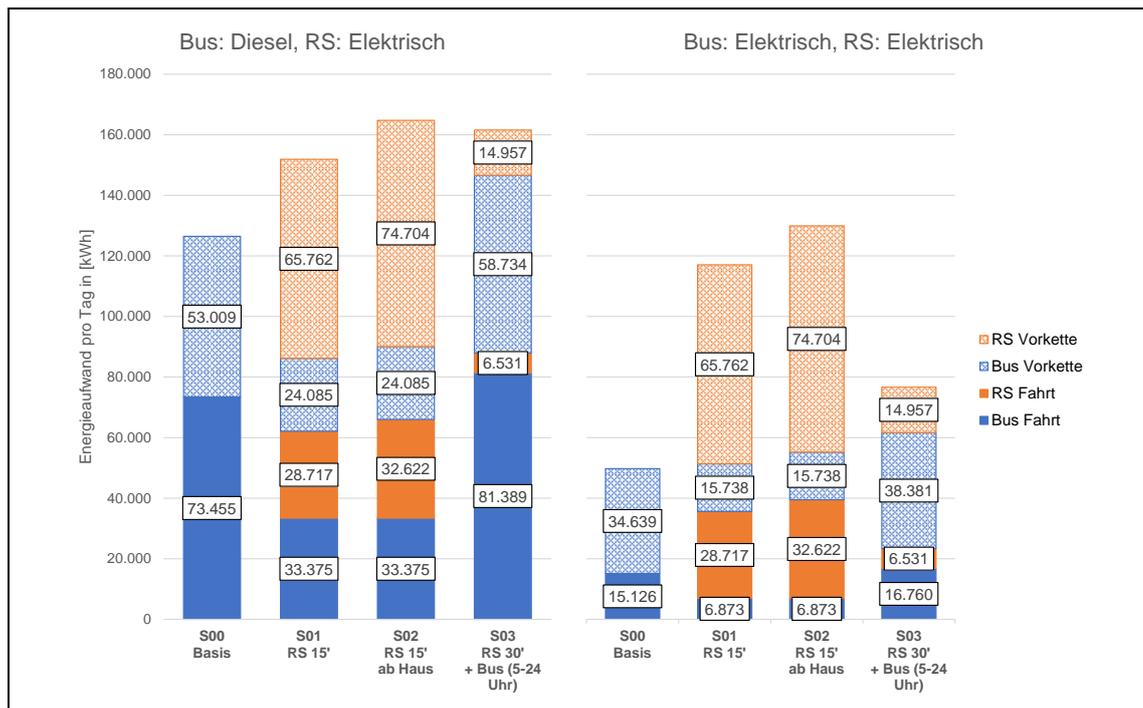


Bild 22: ÖV-Fahrzeugflotte: Energieaufwand.

Bei Betrachtung des Fahrt-Energieaufwandes (solide Füllung) lässt sich feststellen, dass bei Einsatz von Dieselmotoren der gesamte Energieaufwand in den Ridesharing-Szenarien S01 und S02 im Vergleich zu S00 sinkt. Bei Einführung von ergänzenden Bussen in S03 steigt der Energieaufwand hingegen über das Niveau von S00, da die zusätzlichen Buslinien viele Einsatzkilometer generieren und Dieselmotoren einen hohen Energieaufwand pro Kilometer von 4,61 kWh/km (vgl. Tabelle 9) aufweisen. Bei Einbeziehen der Vorkette (Musterfüllung) steigt der gesamte Energieaufwand im Vergleich zum Basisfall S00 an. Dies kann durch den um Faktor 3 höheren elektrischen Energieaufwand der Vorkette bei Ridesharing erklärt werden und durch die hohe Anzahl an Einsatzkilometern pro Tag.

Die Antriebskombination elektrischer Bus und elektrisches Ridesharingfahrzeug weist einen steigenden Energieaufwand in S01 und S02 auf. Der Energieaufwand von Elektrobusen verringert sich deutlich gegenüber dieselbetriebenen Bussen, sodass eine starke Verringerung des Energieaufwands erzielt wird. Die hohen Einsatzkilometer der Ridesharingfahrzeuge wirken diesem Trend entgegen und bewirken steigende Energieaufwände in S01 und S02. In S03 liegen die Energieaufwände unter dem Niveau von S01 und S02. Grund hierfür sind die niedrigeren Einsatzkilometer der Ridesharingfahrzeuge (vgl. Bild 17).

Bild 23 zeigt die CO₂-Emissionen in kg pro Tag auf. Differenziert wird wie in Bild 22 nach Vorkette und Fahrt und nach den Antriebsartkombinationen Dieselmotoren/Elektrische Ridesharingfahrzeuge und Elektrobusse/Elektrische Ridesharingfahrzeuge.

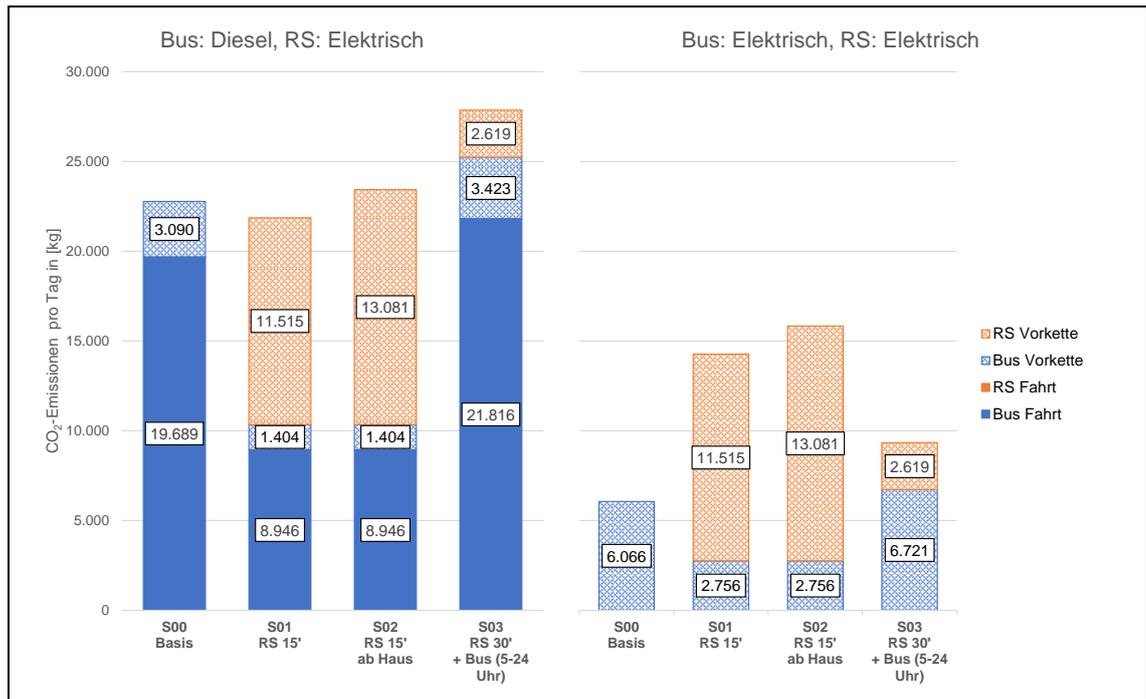


Bild 23: ÖV-Fahrzeugflotte: CO₂-Emissionen.

Die Kombination von Dieselnissen und elektrischen Ridesharingfahrzeugen bringt für S01 im Vergleich zum Basisfall S00 eine Reduzierung der CO₂-Emissionen. Grund hierfür ist der elektrische Antrieb der Ridesharingfahrzeuge, da dieser während der Fahrt keine Emissionen ausstößt und zusätzlich weniger Einsatzkilometer zur Bedienung der verbleibenden Buslinien benötigt werden. In S02 werden die CO₂-Einsparungen durch weniger Busverkehr vollständig durch die von der Stromherstellung emittierten CO₂-Mengen kompensiert. Infolge der ergänzten Buslinien und deren hoher Taktung, weist S03 die höchsten Emissionen auf.

Die Umstellung der Dieselnisse auf Elektrobusse hat das Entfallen der Bus-Fahrtmissionen zur Folge, die den Großteil der CO₂-Emissionen des Busverkehrs ausmachen. Durch die hohen Vorketten-Emissionen und die hohe Anzahl benötigter Ridesharingfahrzeuge kann keine Reduktion der CO₂-Emissionen in den Ridesharingsszenarien S01 bis S03 erreicht werden. In jedem Szenario steigen die CO₂-Emissionen gegenüber S00 mindestens um den Faktor 1,5 (S03) und maximal um den Faktor 2,6 (S02).

6 Zusammenfassung und Fazit

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Ridesharingangebot verbessert das ÖV-Angebot

Das untersuchte Ridesharingangebot verbessert das ÖV-Angebot in vierfacher Weise:

1. Es schafft neue direkte Verbindungen.
2. Es erhöht die Bedienungshäufigkeit.
3. Es reduziert die Reisezeiten auf Relationen mit einem Umstieg vom oder zum schienegebundenen Verkehr. Die Reisezeitgewinne sind aber relativ gering, da beim Umstieg auf den liniengebundenen ÖV immer ein Zeitpuffer eingeplant werden muss.
4. Insbesondere bei einer Abholung der Fahrgäste an der Haustür reduziert es die Zugangszeiten (Szenario S02).

Ridesharing beeinflusst die Ziel- und Moduswahl

Die Verbesserungen des ÖV-Angebots wirken dann auf die Zielwahl und die Moduswahl:

- Die Verkehrsteilnehmenden können einige Orte besser erreichen. Das verändert die Zielwahl und führt zu einer Zunahme der mittleren Reiseweite. Bezogen auf die Wege mit Quelle und/oder Ziel im Planungsraum steigt die mittlere Reiseweite zwischen 3 Prozent (S03) und 5 Prozent (S02).
- Der Modal-Split-Anteil des ÖV erhöht sich im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr des Planungsraums deutlich. Der mit der Luftlinienentfernung gewichtete Modal-Split-Anteil des Pkw sinkt zwischen 3 Prozent (S03) und 6 Prozent (S02).
- Auf Relationen mit Ridesharing als Zubringer wird der ÖV-Anteil nicht durch Reisezeitreduzierungen erhöht, sondern durch eine höhere Angebotsdichte. Auf den angebotenen Zubringer-Verbindungen können die Fahrgäste einen Zubringer zu jeder S-Bahn und anderen Schienenverkehrsmitteln anfordern.

Die Bündelungswirkung des Ridesharingangebots ist gering

Die räumliche und zeitliche Flexibilität des Ridesharingangebots reduziert die Bündelungswirkung gegenüber dem Linienbetrieb. Der durchschnittliche Besetzungsgrad je Ridesharing-Lastfahrkilometer liegt in allen Szenarien bei knapp 2,0 Fahrgästen.

Ridesharing reduziert die gesamte Fahrleistung nicht

Die Gesamtfahrleistung nimmt in S01 und S02 um etwa 3,5 Prozent zu. Das erklärt sich dadurch, dass die Verlagerungen vom Pkw die Mehrkilometer durch Ridesharingfahrten in S01 und S02 nicht ausgleichen, sodass es zu einem Anstieg der Gesamtfahrleistung

kommt. Lediglich in S03 kann ein geringer Rückgang der Gesamtfahrleistung von etwa 0,7 Prozent verzeichnet werden.

Ridesharing erhöht den betrieblichen Aufwand

Die Einführung eines Ridesharingangebots erhöht den betrieblichen Aufwand gegenüber einem reinen Linienbusverkehr:

- **Fahrzeugzahl:** Für die Erbringung des Ridesharingangebots ist eine große Anzahl an Fahrzeugen erforderlich. Die Zahl der Fahrzeuge (Bus + Ridesharing) erhöht sich in S01 um den Faktor 4,6 und in S02 um den Faktor 5,2. Im kombinierten Szenario S03 verdoppelt sich die Fahrzeugzahl.
- **Einsatzkilometer:** Die Einsatzkilometer steigen stärker als die Zahl der Fahrzeuge. Sie erhöhen sich in S01 um den Faktor 7,0 und in S02 um den Faktor 7,9. Im kombinierten Szenario S03 beträgt der Faktor 2,7.
- **Betriebskosten:** Die Kosten sind in allen Szenarien mit Ridesharing höher als beim Linienbetrieb. Das gilt auch für einen Zustand, bei dem die Ridesharingfahrzeuge autonom betrieben werden können und die Busse weiter Fahrpersonal benötigen.
- **Energieaufwand:** Der Energieaufwand ist in allen Szenarien mit Ridesharing höher als beim Linienbetrieb. Das gilt auch für einen Zustand, bei dem die Ridesharingfahrzeuge elektrisch und die Busse mit Diesel betrieben werden, sofern die Vorkette bei der Energieerzeugung berücksichtigt wird.
- **CO₂-Emissionen:** Die CO₂-Emissionen liegen in den Szenarien S00, S01 und S02 in der gleichen Größenordnung, wenn die Busse mit Diesel betrieben werden und die Vorkette mitberücksichtigt wird. Aufgrund der hohen Bustaktung in S03 fallen hier die CO₂-Emissionen bei Bussen mit Dieselbetrieb höher aus als in den anderen Szenarien. Bei ebenfalls elektrisch betriebenen Bussen sind die CO₂-Emissionen in S00 deutlich geringer als in den Szenarien mit Ridesharing. Die CO₂-Emissionen steigen gegenüber S00 mindestens um den Faktor 1,5 (S03) und maximal um den Faktor 2,6 (S02).

Fazit

Ridesharing verbessert das ÖV-Angebot. Die Zugangsweiten reduzieren sich, die Bedienungshäufigkeit steigt und es werden im Planungsraum mehr direkte Verbindungen angeboten. Bei direkten Verbindungen ergeben sich die größten modalen Verlagerungen, da sowohl die Reisezeit abnimmt als auch die Bedienungshäufigkeit zunimmt. Die häufig genannte Vorstellung, dass Ridesharing den ÖV in ländlichen und peri-urbanen Räumen auf der letzten Meile attraktiver machen kann, ist allerdings nur bedingt richtig. Bei jedem Umstieg muss eine Pufferzeit eingeplant werden. Aufgrund der Fahrtzeit-schwankungen eines Ridesharingfahrzeugs müssen diese Pufferzeiten mindestens so groß sein wie im Linienbetrieb. Deshalb sind die Reisezeitgewinne auf Verbindungen mit einem Umstieg kleiner als auf direkten Verbindungen. Aber auch auf Verbindungen mit Umstieg verbessert sich das Angebot, wenn Fahrgäste aus dem Planungsraum an jede

Abfahrt einer S-Bahn und Regionalbahn angebunden werden. Diese Verbesserungen führen zu Fahrgastzuwächsen auf allen Relationen, auf denen das Ridesharing den liniengebundenen ÖV ersetzt.

Da die Bündelungswirkung eines Ridesharingangebots mit einem mittleren Besetzungsgrad von 2,0 Personen gering ist, ist es schwierig Pkw-Fahrleistung einzusparen, auch wenn es Verlagerungen vom Pkw auf den ÖV gibt. Deshalb sind die Verbesserungen der Angebotsqualität mit erhöhten Aufwänden bei den Einsatzkilometern und den Einsatzzeiten verbunden, die in S01 und S02 sieben- bis achtmal höher sind als im Ausgangszustand S00. Das hat Auswirkungen auf die Kosten, den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen. Autonom betriebene Fahrzeuge benötigen zwar keinen Fahrer, es ist aber trotzdem ein zeitabhängiger Kostenoverhead für die Überwachung der Fahrzeuge erforderlich. Ähnliches gilt für elektrisch betriebene Fahrzeuge, die zwar deutlich weniger CO₂ emittieren, aber beim aktuellen Strommix nicht emissionsfrei sind. Außerdem wird in allen Szenarien ein Teil des Angebots weiter mit Bussen erbracht. Deshalb liegen die CO₂-Emissionen bei den Szenarien S00 bis S02 in der gleichen Größenordnung und im Szenario S03 höher, wenn Busse als Dieselfahrzeuge und Ridesharingfahrzeuge elektrisch betrieben werden. Sobald auch Busse elektrisch und autonom betrieben werden können, sind die Emissionen im Ausgangsszenario am niedrigsten, da hier das Angebot am geringsten ist.

Ein Ridesharingangebot hat also, wie fast alle verkehrlichen Maßnahmen, nicht nur wünschenswerte, sondern auch unerwünschte Wirkungen. Deshalb muss im Einzelfall entschieden werden, wo und in welchem Umfang ein Ridesharingangebot sinnvoll ist.

Der ÖPNV-Report Baden-Württemberg [15] zeigt, dass die Angebotsqualität im VVS verglichen mit anderen Regionen in Baden-Württemberg besser ist. Verglichen mit sogenannten „Best-Practice-Vorbildern“ aus der Schweiz und Österreich ist die Angebotsdichte, d.h. die Bedienungshäufigkeit, im VVS allerdings niedriger. Um eine vergleichbare Angebotsdichte zu erreichen, sind betriebliche Mehraufwände erforderlich, so wie in den untersuchten Szenarien. Bereits heute verkehren viele Linien im Planungsraum im 30-Minuten-Takt und bieten damit eine für den peri-urbanen Raum vergleichsweise hohe Angebotsdichte. Alle drei Szenarien zeichnen sich dadurch aus, dass auf allen Relationen (S01 und S02) oder auf vielen Relationen (S03) ein 15-Minuten-Takt angeboten wird. Den Sprung vom 30-Minuten-Takt auf den 15-Minuten-Takt kann man als den Übergang von der Angebotsqualität einer Daseinsvorsorge zur städtischen Angebotsqualität verstehen. Dass ÖV-Anteile trotzdem nicht die Werte aus Städten erreichen, liegt vor allem daran, dass die Pkw-Nutzung im peri-urbanen Raum nicht oder kaum mit Verlustzeiten verbunden ist.

Die untersuchten Szenarien S01 und S02 zeigen, dass eine „Individualisierung des ÖV“ deutliche Verbesserungen bringt, aber mit einem Pkw-ähnlichen Besetzungsgrad. Notwendig sind also Kompromisslösungen, bei denen die „Individualisierung“ begrenzt wird. Das kann durch räumliche und zeitliche Einschränkungen des Angebots erfolgen. Bei einer räumlichen Einschränkung wird der Besetzungsgrad durch eine Bündelung der

Nachfrage entlang von Korridoren erhöht. Das führt dann zu Angeboten, die einem Richtungsband ähnlich sind. Zeitliche Einschränkungen reduzieren die Bedienungshäufigkeit beispielsweise dadurch, dass das Ridesharing nurmehr alle 30 Minuten angeboten wird anstatt alle 15 Minuten. Das Szenario S03 zeigt hier Möglichkeiten auf. Weitere Untersuchungen könnten auf diesem Szenario aufbauen, die Buslinien in gewissem Umfang zu einem Richtungsbandbetrieb erweitern und das Ridesharing auf ausgewählte Korridore beschränken.

7 Literaturverzeichnis

- [1] ADAC: Autodatenbank. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/info-testrat/autodatenbank/autokosten/autokosten-rechner/default.aspx>, zuletzt geprüft am 16.03.2021.
- [2] BMU (2021): Fragen und Antworten zur Einführung der CO₂-Bepreisung zum 1. Januar 2021. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. On-line verfügbar unter <https://www.bmu.de/service/haeufige-fragen-faq/fragen-und-antworten-zur-einfuehrung-der-co2-bepreisung-zum-1-januar-2021/>, zuletzt geprüft am 31.03.2021.
- [3] Bösch, P. M.; Becker, F.; Becker, H.; Axhausen, K. W. (2018): Cost-based analysis of autonomous mobility services. In: *Transport Policy* (64), S. 76–91. DOI: 10.1016/j.tranpol.2017.09.005.
- [4] Braun, R. (2017): Praxisbericht Regio E-Bus – Batteriebusse im ländlichen Raum. 20. Energietag Bingen. Online verfügbar unter https://www.tsb-energie.de/fileadmin/Redakteure/Veranstaltungen/Energietag/2017/Referentenbeitraege/Hr._Braun_-_Nahverkehr_Hohenlohekreis.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2021.
- [5] Breitkopf, A. (2021): Strompreise für Gewerbe- und Industriekunden in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2020. Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154902/umfrage/strompreise-fuer-industrie-und-gewerbe-seit-2006/>.
- [6] Burkert, A. (2019): Endenergiebezogene Analyse Diesel versus Elektromobilität. In: *springerprofessional.de*, 02.05.2019. Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/elektromobilitaet/dieselmotor/endenergiebezogene-analyse-diesel-versus-elektromobilitaet/16673694>, zuletzt geprüft am 16.03.2021.
- [7] Busfreude (2021): Busfahrer Gehalt. Online verfügbar unter <https://www.busfreude.de/busfahrer-gehalt/>, zuletzt geprüft am 31.03.2021.
- [8] Eßer, C. (2016): Die Kleine Anfrage: Warum wiegt CO₂ aus dem Auspuff mehr als der Sprit im Tank? In: *wdr.de*, 20.10.2016. Online verfügbar unter <https://www1.wdr.de/wissen/technik/kohlenstoffdioxid-sprit-100.html>, zuletzt geprüft am 16.03.2021.
- [9] Frank, P.; Friedrich, M.; Schlaich, J. (2008): Betriebskosten von Busverkehren schnell und genau ermitteln - vereinfachtes Kostenmodell liefert belastbare Ergebnisse / Fast but exact calculation of bus operation costs. In: *DER NAHVERKEHR* (26), S. 15–22., Alba Fachverlag.
- [10] Friedrich, M.; Hartl, M. (2016): MEGAFON-Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs. Hg. v. Universität Stuttgart.

- [11] Fritsche, U.; Greß, H.-W. (2020): Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strom-mix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Hg. v. HEA - Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V. Online verfügbar unter <https://www.hea.de/projekte/wie-viel-energie-verbraucht-die-erzeugung-einer-kilowattstunde-strom>, zuletzt geprüft am 16.03.2021.
- [12] Hohmann, M. (2021): Durchschnittlicher Preis für Dieselkraftstoff in Deutschland in den Jahren 1950 bis 2021. Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/779/umfrage/durchschnittspreis-fuer-dieselmotoren-seit-dem-jahr-1950/#statisticContainer>.
- [13] Icha, P.; Kuhs, G. (2020): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2019. Hg. v. Umweltbundesamt. ISSN 1862-4359. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-6>, zuletzt geprüft am 16.03.2021.
- [14] Kirste, B. (2017): PKW: Diesel oder Benzin? Hg. v. FU Berlin. Online verfügbar unter <http://kirste.userpage.fu-berlin.de/chemistry/general/diesel.html>, zuletzt geprüft am 31.03.2021.
- [15] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (2020): ÖPNV-Report Baden-Württemberg 2020, erstellt von civity Management Consultants, URL: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mobilitaet-verkehr/bus-und-bahn/oepnv-report-baden-wuerttemberg/> zuletzt geprüft am 27.04.2021
- [16] Schallaböck, K.; Carpantier, R. (2012): Umweltbegleitforschung für PKW und leichte Nutzfahrzeuge: Auswahl der Vergleichsfahrzeuge. Hg. v. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. ISSN 1862-1953. Online verfügbar unter https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Elektromobilitaet_TB_Vergleichsfahrzeuge.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2021.
- [17] Sinner, M.; Weidmann, U. (2018): Kostenermittlung im Bus- und Bahnverkehr: Entwicklung und Erprobung eines einfachen Kostenmodells, das drei Bedingungen erfüllt. In: DER NAHVERKEHR (36), S. 42., Alba Fachverlag.
- [18] Zensus (2011): Mikrozensusnetz. Online verfügbar unter <https://www.zensus2011.de/DE/Home/Aktuelles/DemografischeGrunddaten.html>, zu-letzt geprüft am 30.03.2021.

8 Anhang

8.1 Ergänzende Grafiken zu Anpassung des Verkehrsnachfragemodells

8.1.1 Angebot des fahrplangebundenen ÖV

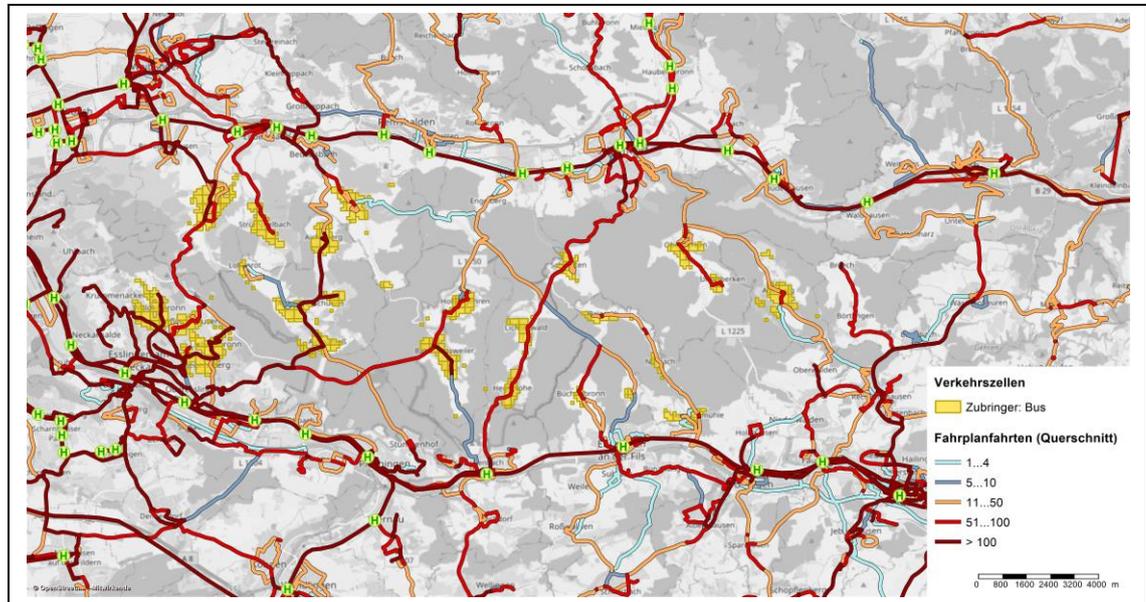


Bild 24: Angebot des fahrplangebundenen ÖV in Bezugsfall S00.

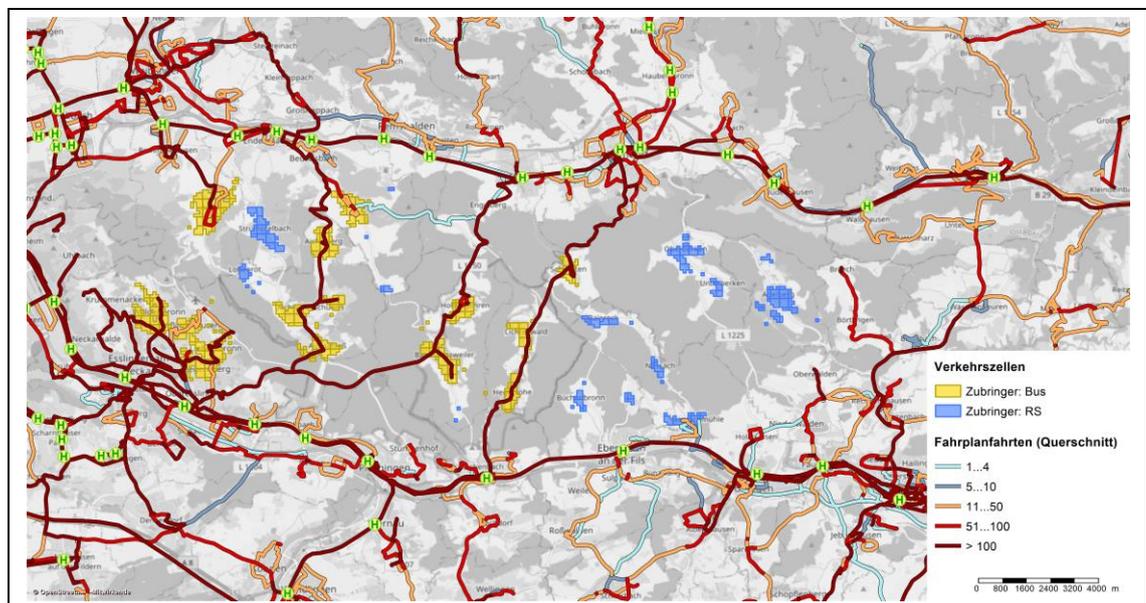


Bild 25: Angebot des fahrplangebundenen ÖV in Szenario S03.

8.1.2 Ridesharing-Haltepunkte

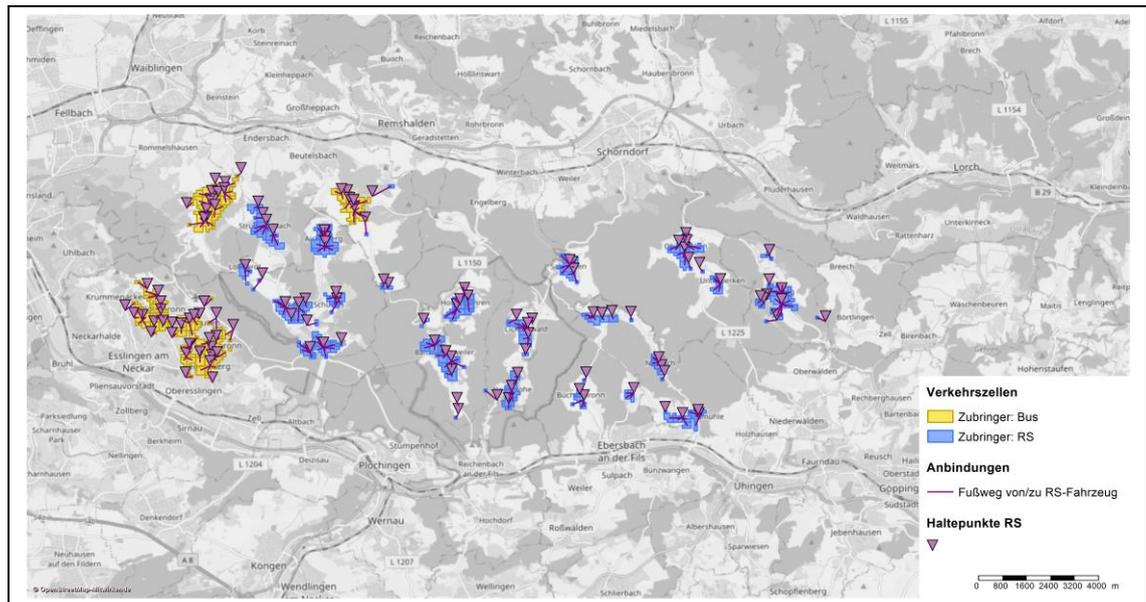


Bild 26: Ridesharing-Haltepunkte Szenario S01.



Bild 27: Ridesharing-Haltepunkte Szenario S02.

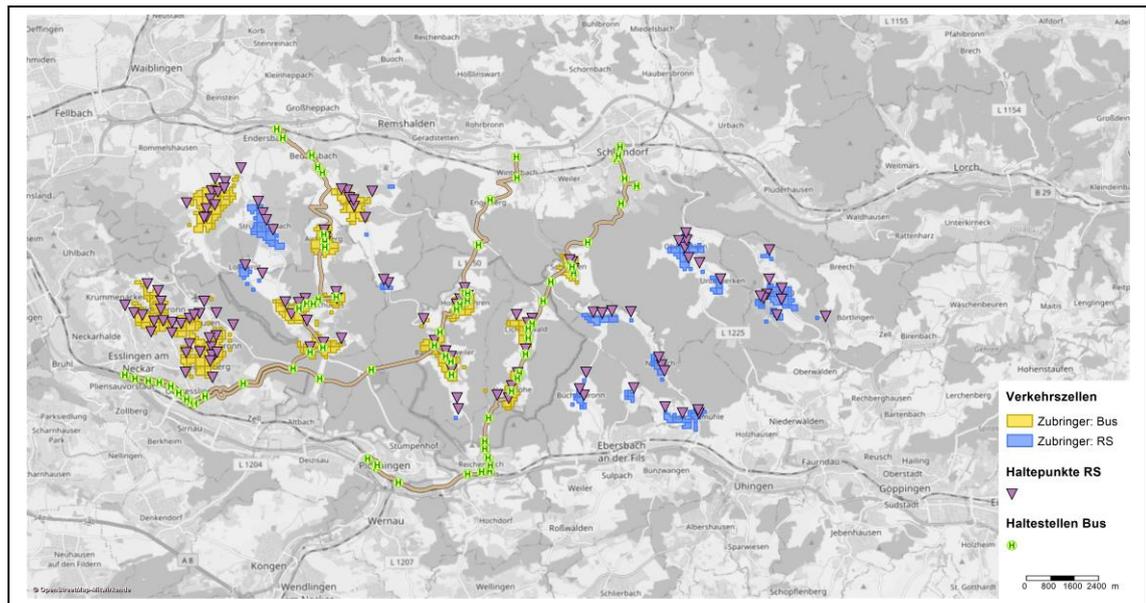
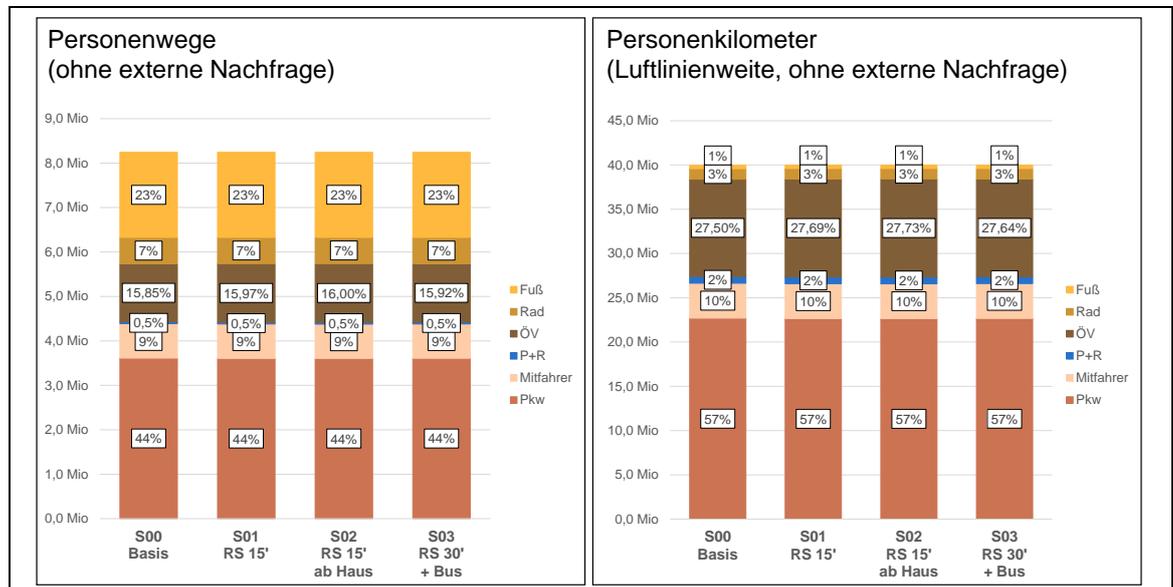


Bild 28: Ridesharing-Haltepunkte und Haltestellen zusätzlicher Buslinien Szenario S03.

8.2 Ergänzende Grafiken zu Verkehrliche Wirkungen

8.2.1 Moduswahl



	Verkehrsaufkommen: Personenwege				Änderung zu S00			Modal-Split Wege			
	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus
Pkw	3.610.000	3.610.000	3.610.000	3.610.000	-0,13%	-0,16%	-0,08%	44%	44%	44%	44%
Mitfahrer	770.000	770.000	770.000	770.000	-0,31%	-0,37%	-0,19%	9%	9%	9%	9%
P+R	40.000	40.000	40.000	40.000	-0,42%	-0,49%	-0,26%	0%	0%	0%	0%
ÖV	1.310.000	1.320.000	1.320.000	1.310.000	0,76%	0,93%	0,44%	16%	16%	16%	16%
Rad	590.000	590.000	590.000	590.000	-0,20%	-0,24%	-0,11%	7%	7%	7%	7%
Fuß	1.920.000	1.910.000	1.910.000	1.920.000	-0,08%	-0,10%	-0,04%	23%	23%	23%	23%
Summe	8.240.000	8.240.000	8.240.000	8.240.000	0,00%	0,00%	0,00%	100%	100%	100%	100%

	Verkehrsleistung: Personenkilometer				Änderung zu S00			Modal-Split Verkehrsleistung			
	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus	S00 Basis	S01 RS 15'	S02 RS 15' ab Haus	S03 RS 30' + Bus
Pkw	22.700.000	22.660.000	22.650.000	22.680.000	-0,18%	-0,23%	-0,12%	57%	57%	57%	57%
Mitfahrer	3.950.000	3.930.000	3.930.000	3.940.000	-0,35%	-0,42%	-0,22%	10%	10%	10%	10%
P+R	750.000	750.000	750.000	750.000	-0,43%	-0,51%	-0,27%	2%	2%	2%	2%
ÖV	10.990.000	11.070.000	11.090.000	11.050.000	0,72%	0,89%	0,53%	28%	28%	28%	28%
Rad	1.190.000	1.190.000	1.190.000	1.190.000	-0,28%	-0,33%	-0,18%	3%	3%	3%	3%
Fuß	370.000	370.000	370.000	370.000	-0,17%	-0,21%	-0,08%	1%	1%	1%	1%
Summe	39.950.000	39.970.000	39.980.000	39.980.000	0,04%	0,05%	0,05%	100%	100%	100%	100%

Bild 29: Moduswahl im Binnenverkehr der Region Stuttgart (alle Wege mit Quelle und Ziel in der Region).

8.2.2 Verkehrsmittelwahl im ÖV

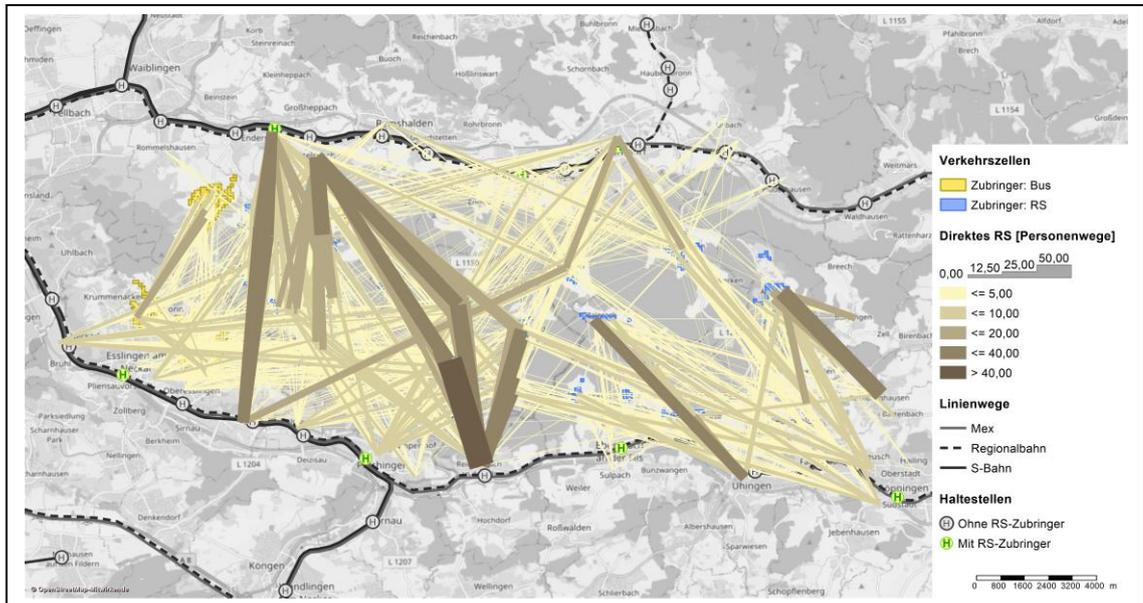


Bild 30: Relationsfeine Nachfrage nach direktem Ridesharing in S01.

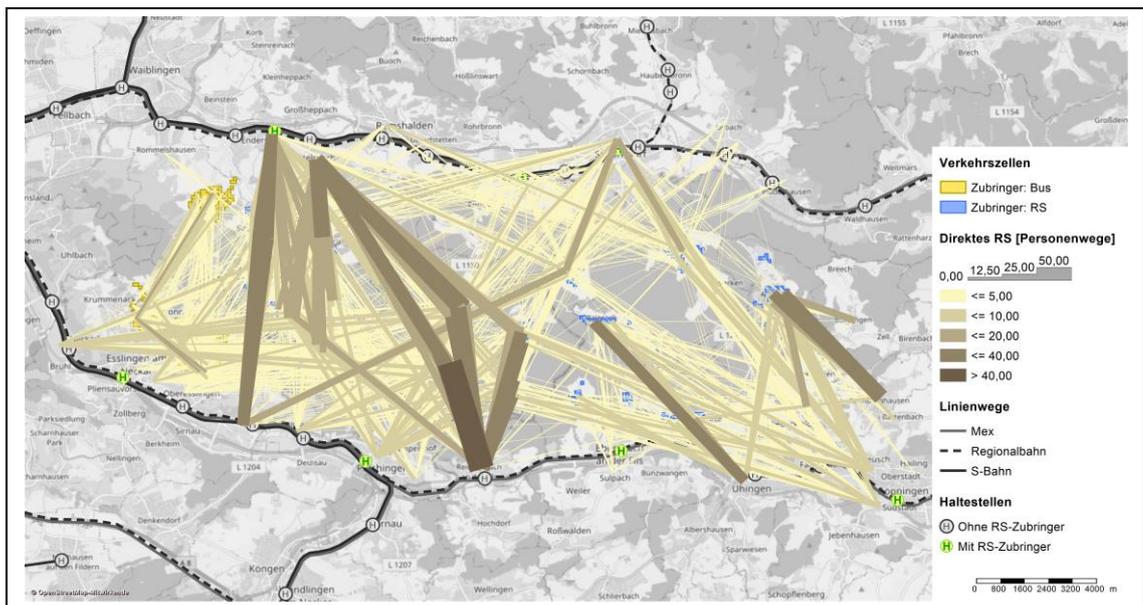


Bild 31: Relationsfeine Nachfrage nach direktem Ridesharing in S02.

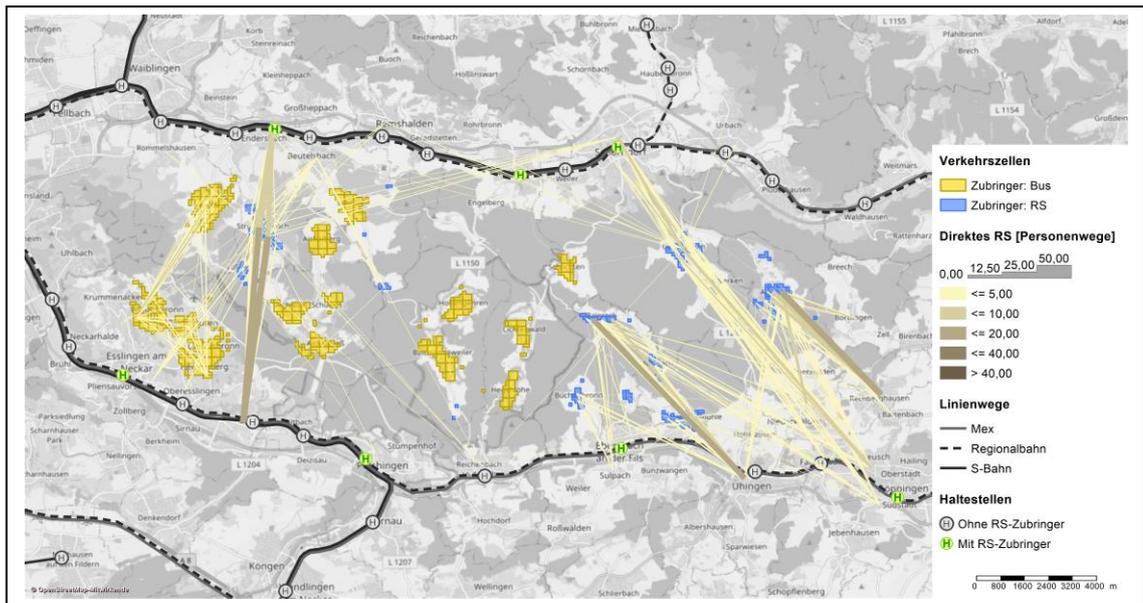


Bild 32: Relationsfeine Nachfrage nach direktem Ridesharing in S03.

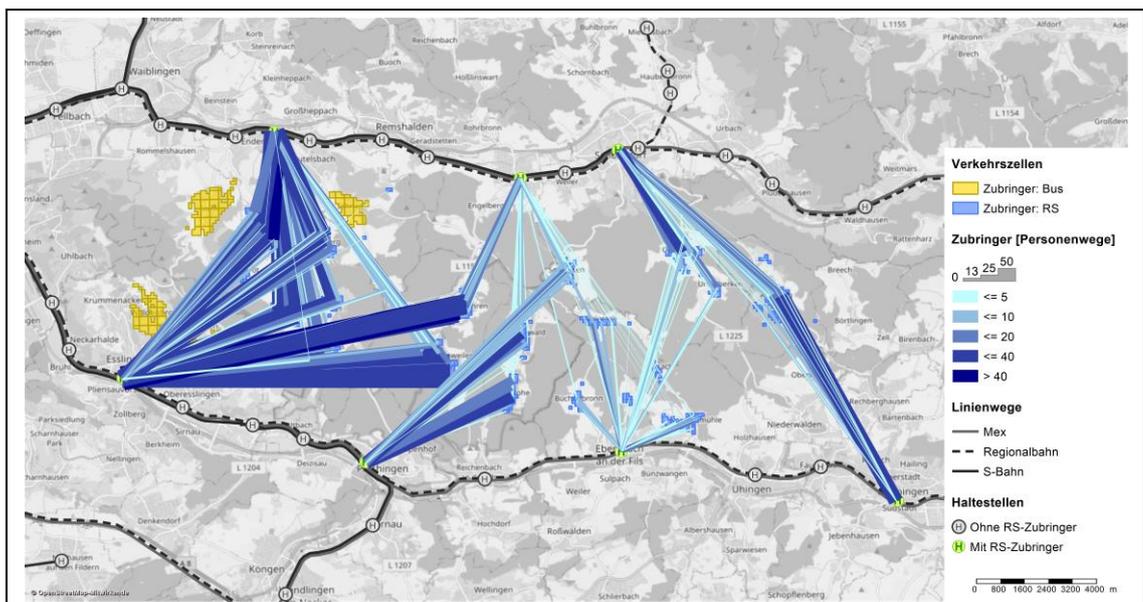


Bild 33: Relationsfeine Nachfrage nach Ridesharing als Zubringer in S01.

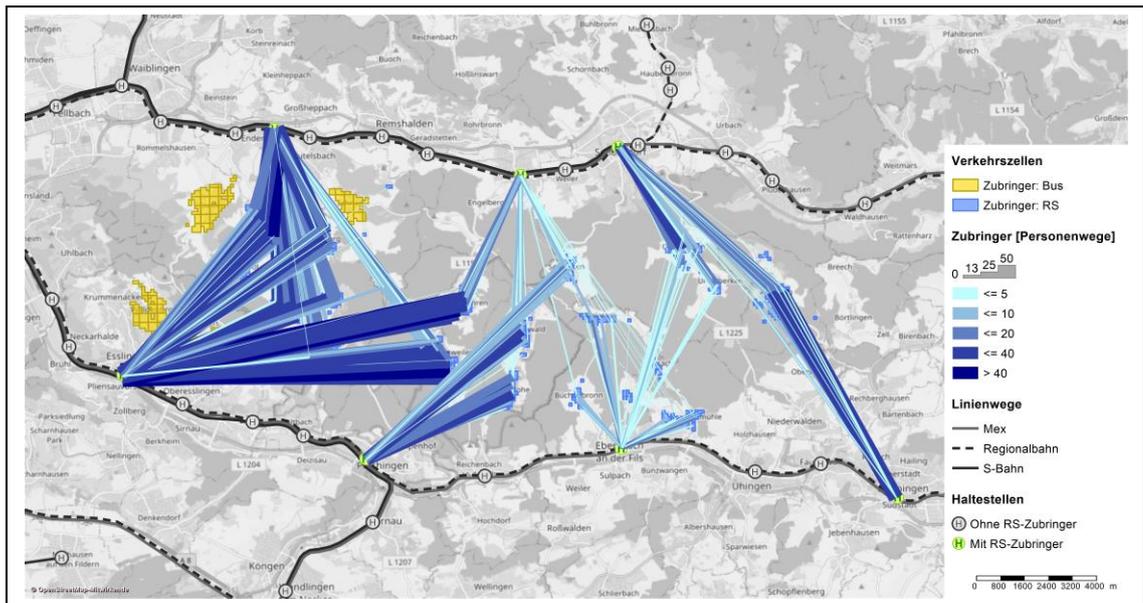


Bild 34: Relationsfeine Nachfrage nach Ridesharing als Zubringer in S02.

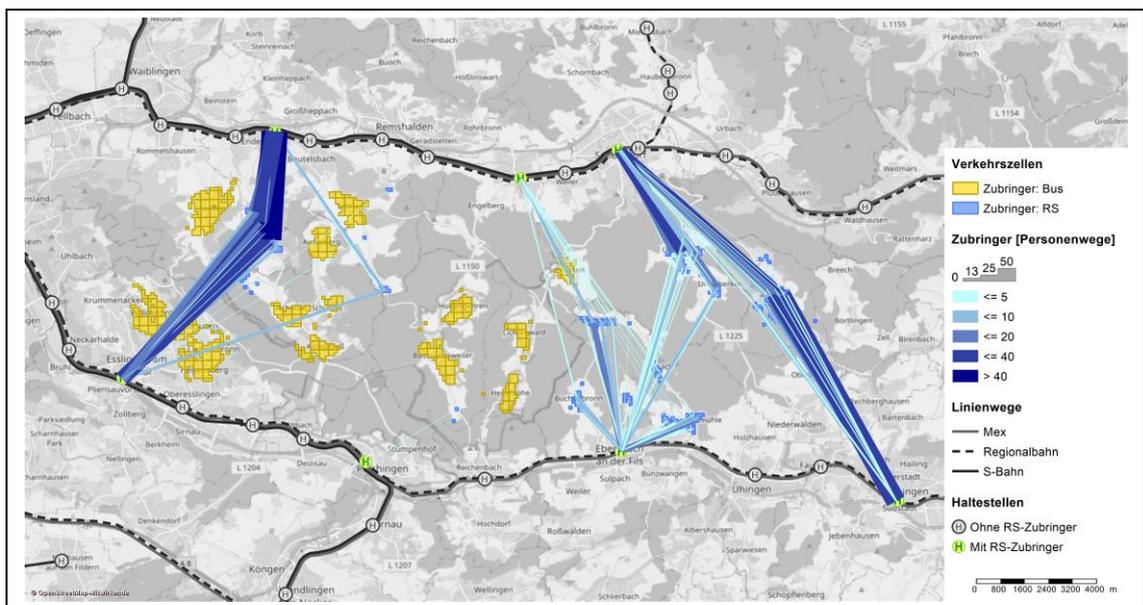


Bild 35: Relationsfeine Nachfrage nach Ridesharing als Zubringer in S03.

8.2.3 Fahrleistung und Verkehrsstärken

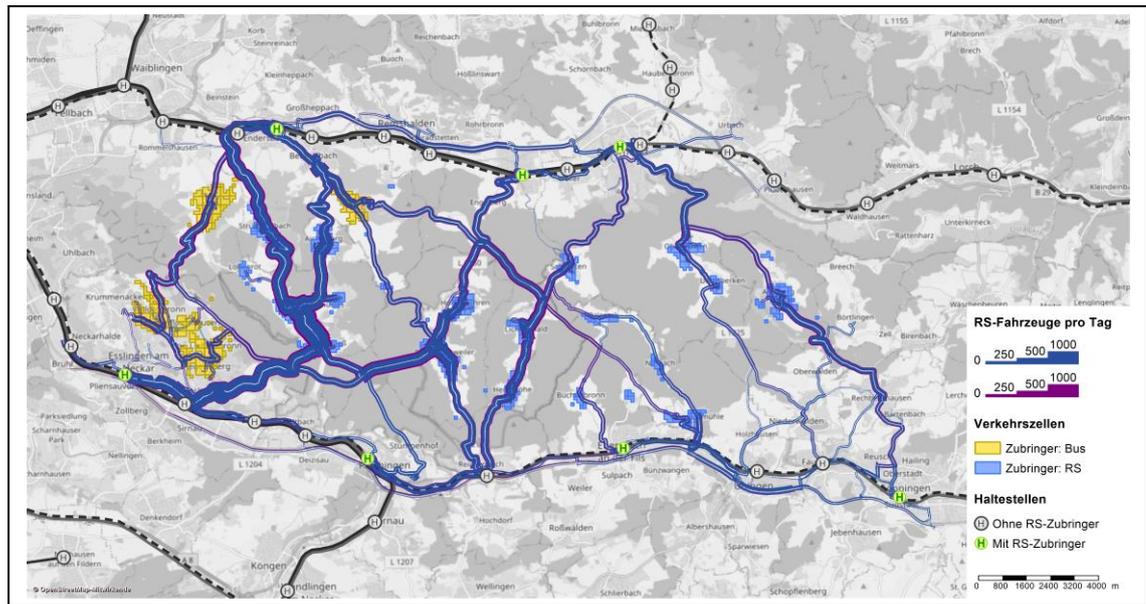


Bild 36: Durch Ridesharingfahrzeuge erzeugte Streckenverkehrsstärken in Szenario S02: Last- (blau) und Leerfahrten (violett).

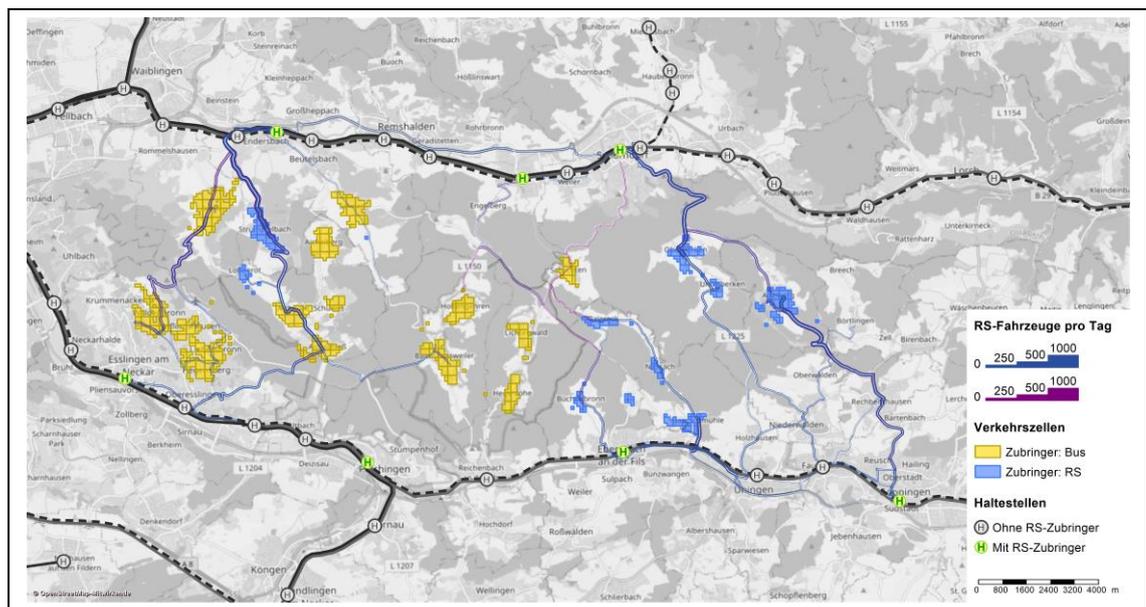


Bild 37: Durch Ridesharingfahrzeuge erzeugte Streckenverkehrsstärken in Szenario S03: Last- (blau) und Leerfahrten (violett).

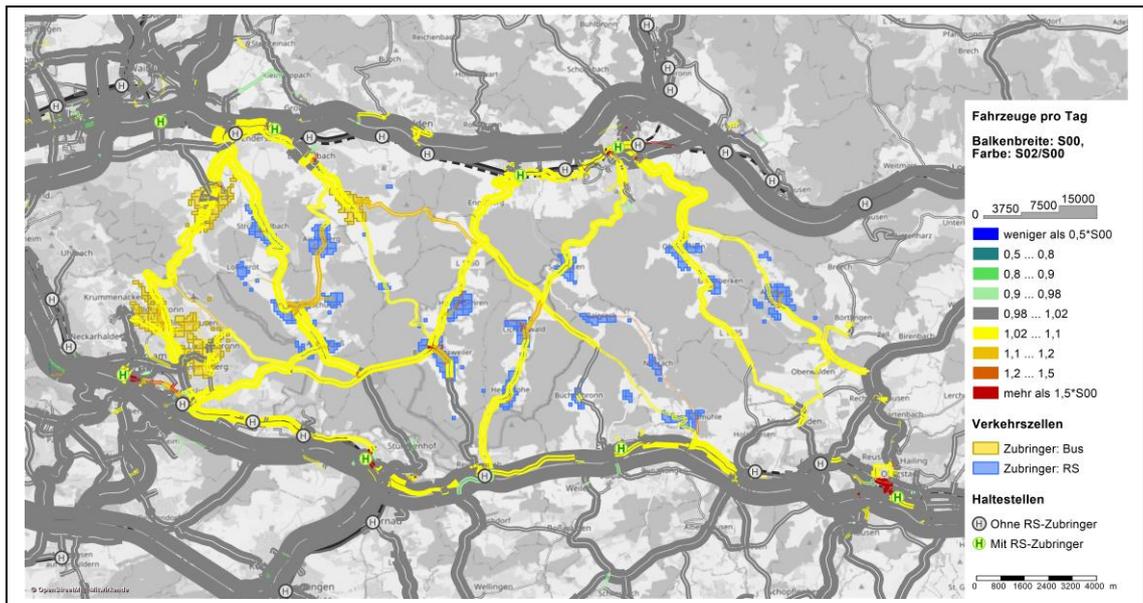


Bild 38: Relative Änderung der Streckenverkehrsstärken von S02 zu S00.

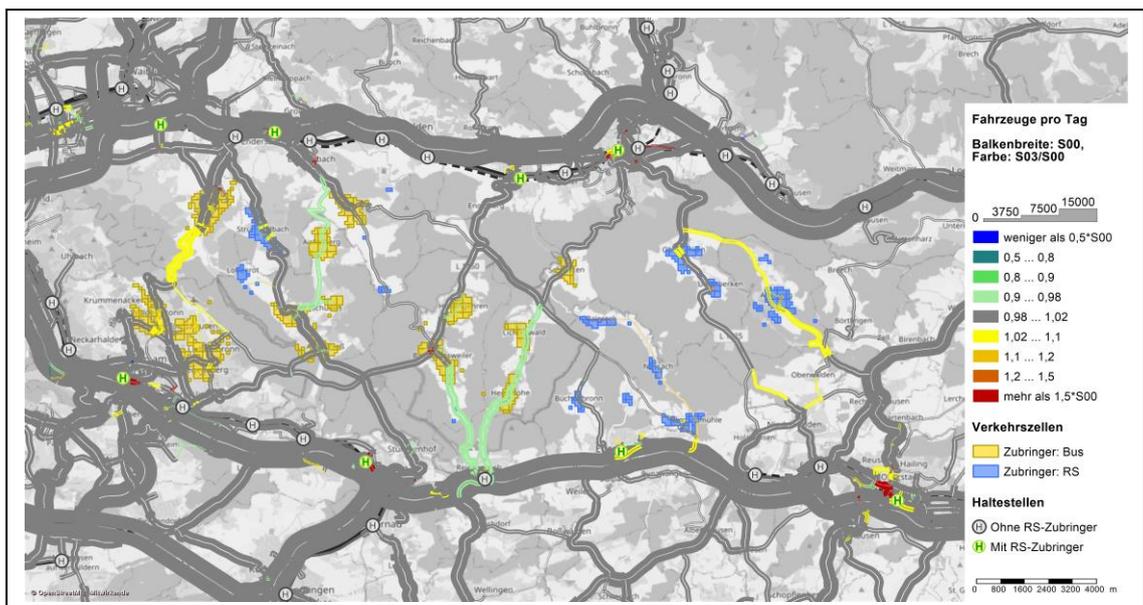


Bild 39: Relative Änderung der Streckenverkehrsstärken von S03 zu S00.

8.2.4 ÖV-Angebotsänderungen ausgewählter Relationen

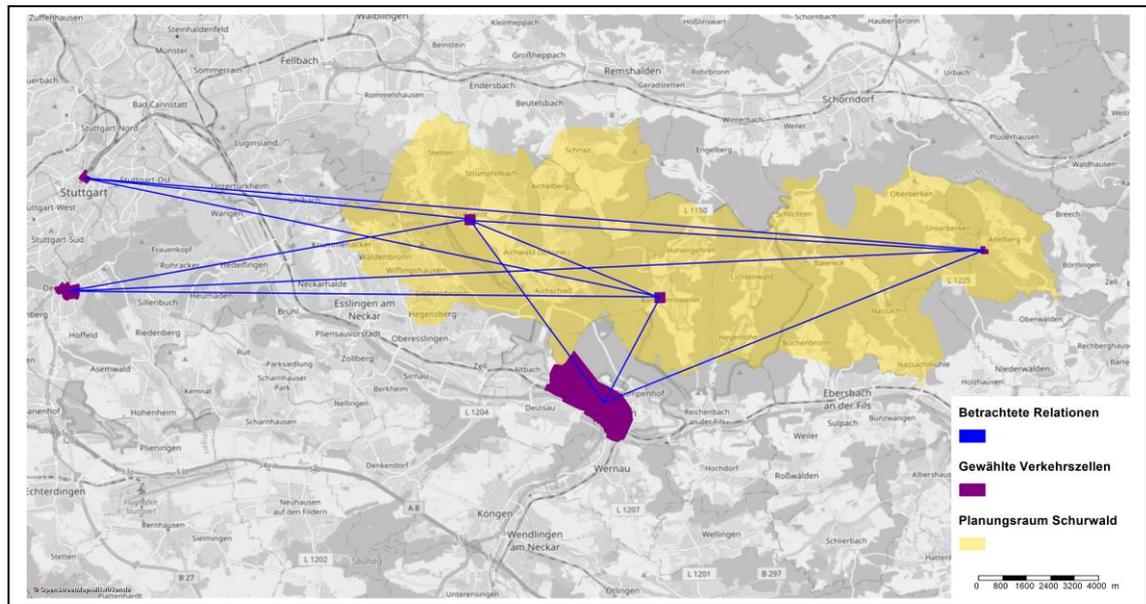


Bild 40: Betrachtete Relationen.

8.3 Ergänzende Grafiken zu Betrieblicher Aufwand und Emissionsbetrachtung

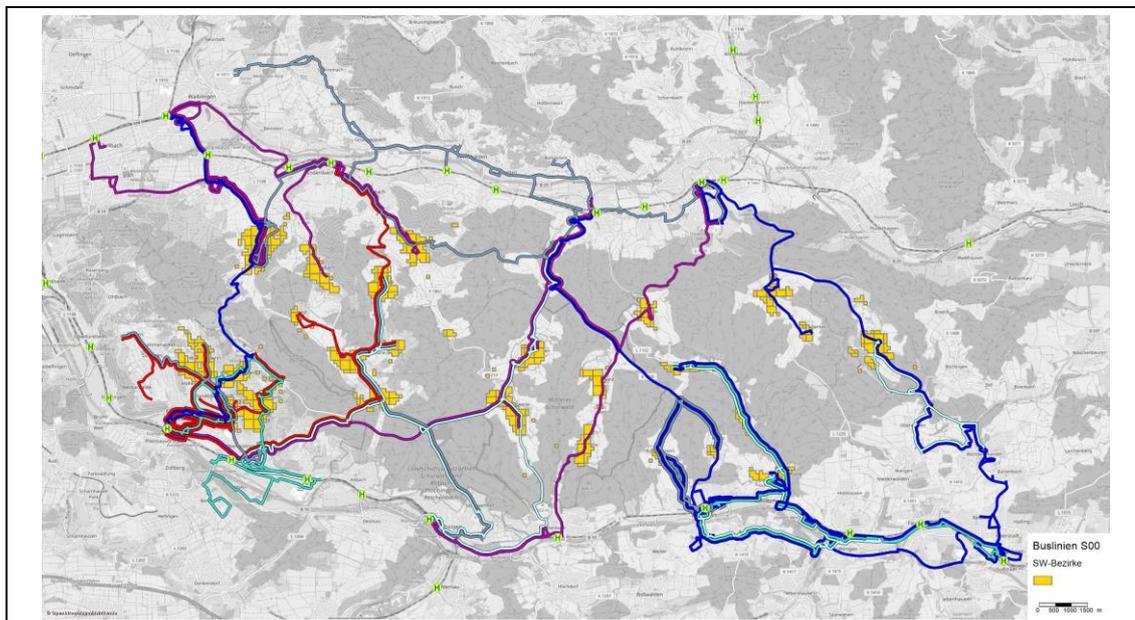


Bild 41: Ergänzend betrachtete Buslinien im Bezugsfall S00.

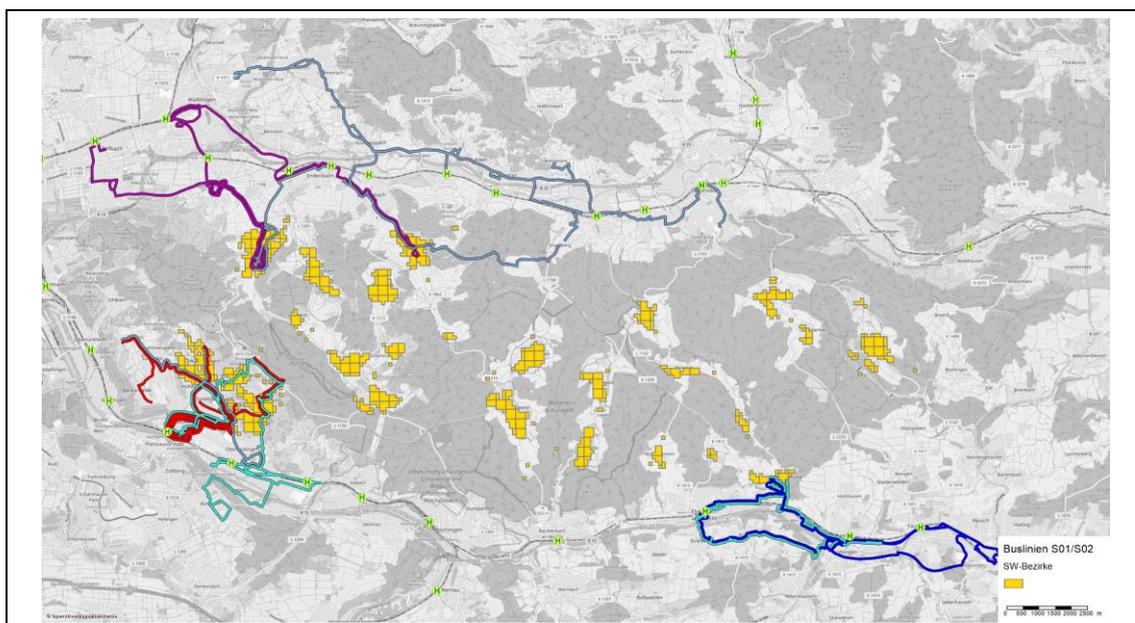


Bild 42: Ergänzend betrachtete Buslinien im Bezugsfall S01/S02.

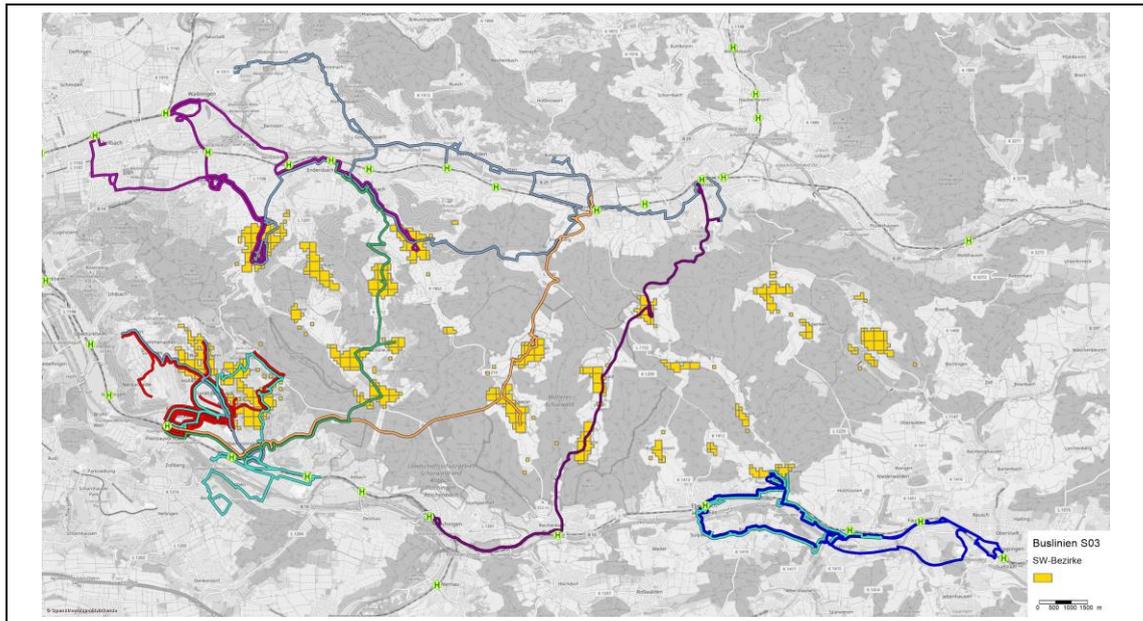


Bild 43: Ergänzend betrachtete Buslinien im Bezugsfall S03.

8.3.1 Kostenbetrachtung

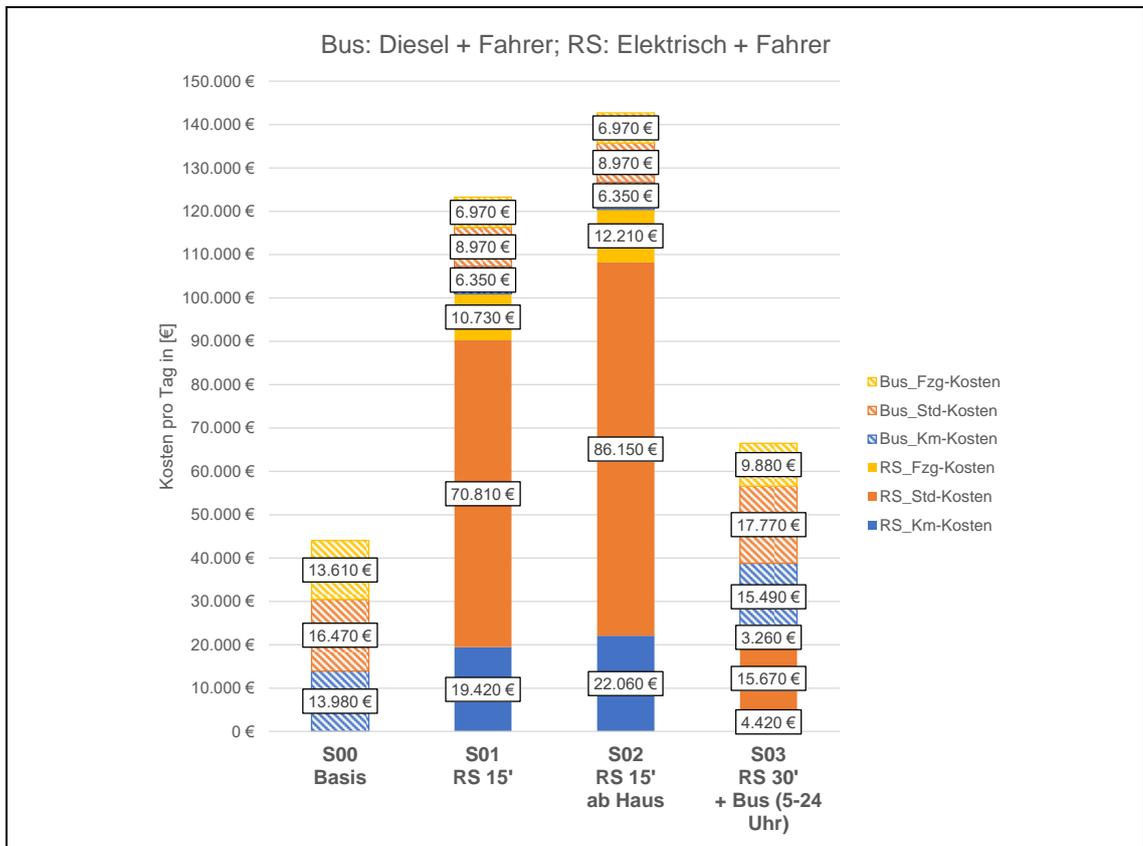


Bild 44: Kosten pro Tag – Bus: Diesel, Fahrer; RS: Elektrisch, Fahrer.

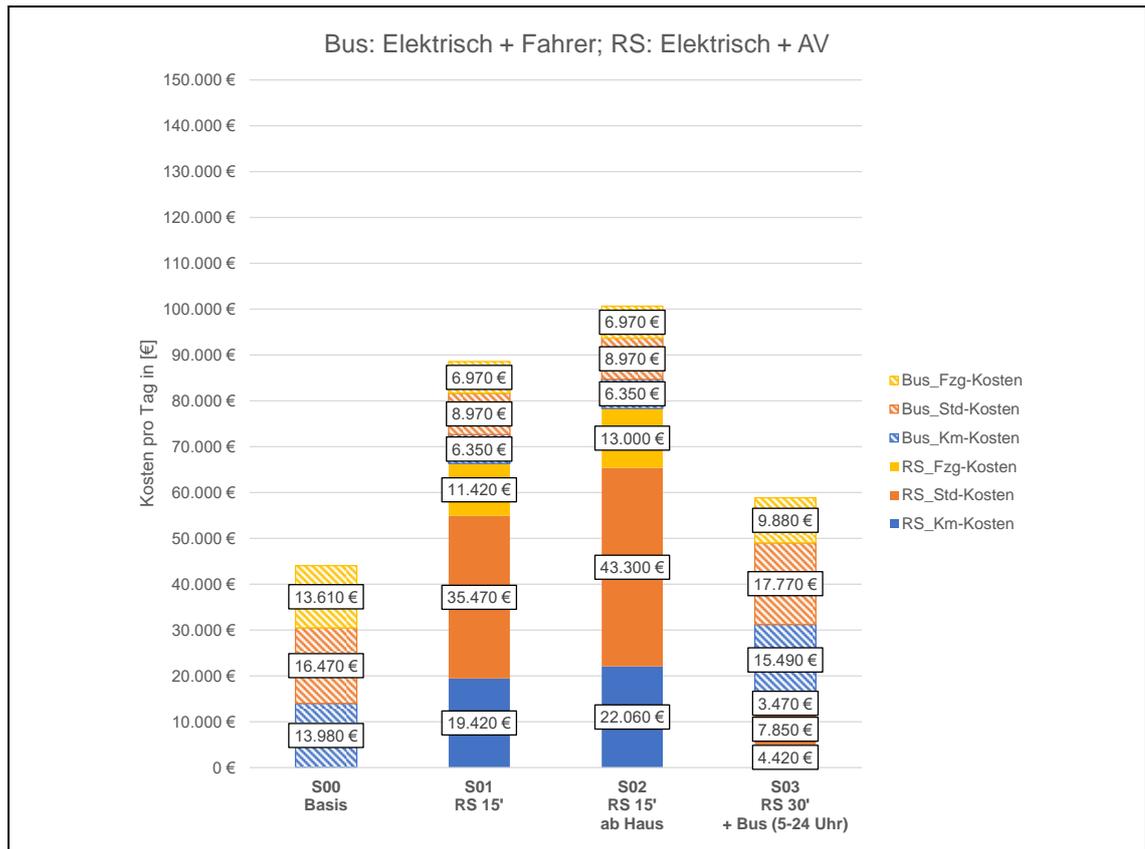


Bild 45: Kosten pro Tag – Bus: Elektrisch, Fahrer; RS: Elektrisch, AV.

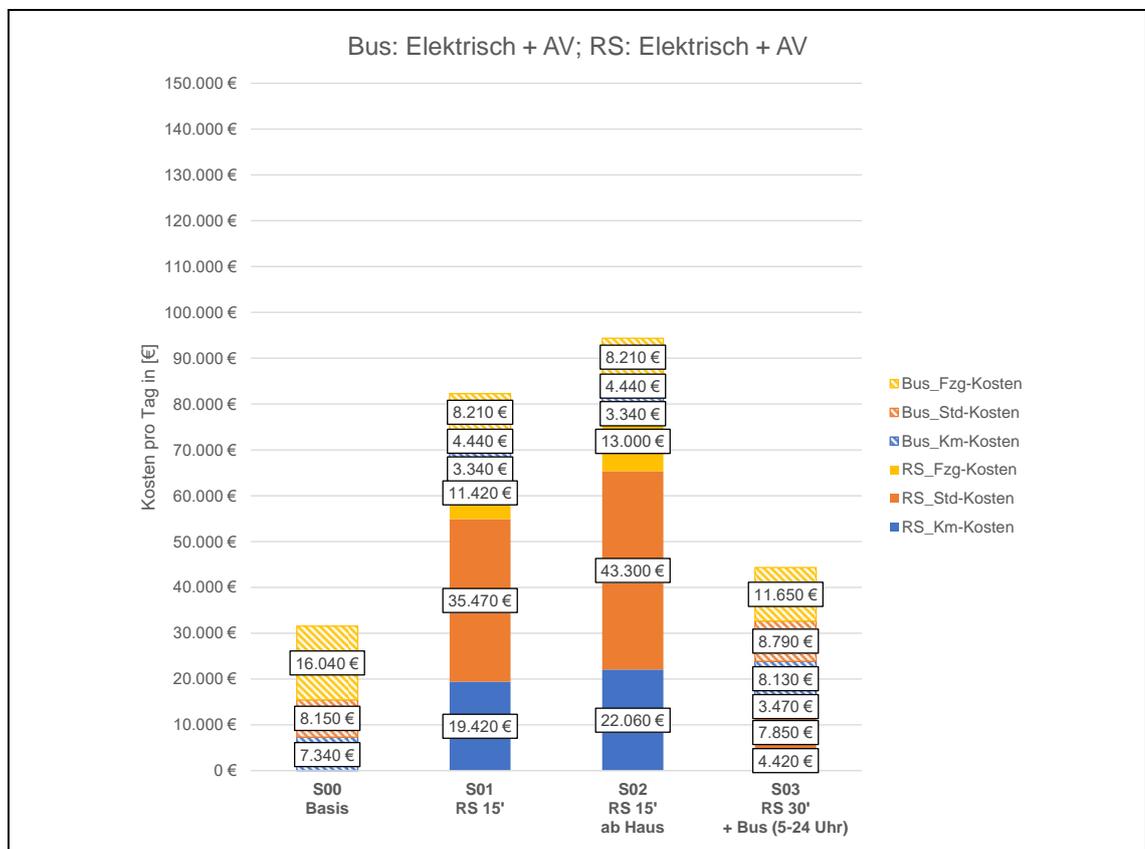


Bild 46: Kosten pro Tag – Bus: Elektrisch, AV; RS: Elektrisch, AV.

8.3.2 Emissionen und Energieaufwand

	Antriebsart	Bus Diesel	Bus elektrisch	RS elektrisch	Quellen
Verbrauch	Diesel [l/100km]	47,6			[9]
	Strom [kWh/100km]		95,0	27,5	[4]
CO₂-Emissionen	Dieselherstellung [g/l]	408,0			[16]
	Dieselerbrennung [g/l]	2600,0			[8]
	Stromherstellung [g/kWh]		401,0	401,0	[13]
CO₂-Preis (2025)		55,0	55,0	55,0	[2]
Energiegehalt	Diesel [kWh/l]	9,7			[14]
Energieaufwand	Stromherstellung [kWh_eingesetzt/kWh_erzeugt]		2,3	2,3	[11]
	Dieselherstellung [kWh/l]	7,0			[6]

Tabelle 10: Wesentliche Annahmen für Emissionen und Energieaufwand.